

Tie kestävään tulevaisuuteen



Martti Tiuri

Tie kestävään tulevaisuuteen

MARTTI TIURI

Tie kestävään tulevaisuuteen

Copyright ©2011 Tampere University Press ja tekijä

Myynti

Tiedekirjakauppa TAJU

Kalevantie 5

PL 617

33014 Tampereen yliopisto

puhelin 040 190 9800

fax (03) 3551 7685

taju@uta.fi

www.uta.fi/taju

<http://granum.uta.fi>

Taitto

Maaret Kihlakaski

Kansi

Mikko Reinikka

ISBN 978-951-44-8405-6

ISBN 978-951-44-8440-7 (pdf)

Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print
Tampere 2011

Sisällysluettelo

1. Tulevaisuuden haasteet	11
Maailma on maapallon laajuinen	11
Vaihtuvat ympäristöongelmat	14
Globalisaation haasteet Suomelle	17
2. Ilmastonmuutos on uhkapeliä	21
Luonnonlait ja ihmiskunta synnä ilmastonmuutokseen	21
Maapallon ilmasto vaihdellut laidasta laitaan	25
Jääkausi on nykymaapallon normaali tila.....	28
Uusi jääkausi tulossa?	34
Ilmastonmuutos on uhkapeliä	37
3. Uusiutuva energia ei riitä	42
Energiantuotannon muuttaminen on hidasta ja kallista	42
Uusiutuvaa energiaa: paluu 1700-luvulle?	45
Polttamiseen perustuva energia on vaarallista pienhiukkasten vuoksi	47
Metsäbioenergia tuottaa sekä hiilidioksidi- että pienhiukkaspäästöjä	50
Tuulivoima on patkäsähköä ja tuhlaa luonnonvaroja sekä maisemia	54
Aurinkosähkö on kallista, aurinkolämpö edullista	58
Biopolttonesteiden harhat	61
Ympäristöjärjestöjen arvioinnit vääristyneitä	65
Avulias Aatu	70
4. Tie kestävään energiaan	72
Ilmastonmuutos karkaa?	72
Ydinvoimaa lisäämällä kestävän tulevaisuuden tielle	76
Tshernobylin kauhukuvat ja todellisuus	78
Harrisburgin ja Fukushima onnettomuudet	81
Luonto säteilee ydinvoimaloita enemmän	84
Ydinvoiman kehitysnäkymät	86
Fuusiovoima on jo näköpiirissä	89
Led-valaistus ja sähköautot kestävää energiatulevaisuutta	91

5. Tieteellä ja tekniikalla kestävään tulevaisuuteen	94
Tietoyhteiskunta perustuu uuteen tietoon ja osaamiseen	94
Avaruustekniikka kerskatutkimusta?	95
Radiotekniikka ja elektroniikka	
avainasemassa tieteen ja tekniikan kehittämisessä	99
Nanotiede ja nanotekniikka	
mullistavat useita tekniikan aloja	102
Geenitiede ja geenitekniikka	
muuttavat maailman tulevana vuosikymmeninä	105
6. Suomen tie kestävään tulevaisuuteen	108
Suomi muuttui vauhdilla tietoyhteiskunnaksi	108
Historia uhkaa toistaa itseään	111
Suomen haasteet globaalin tietoyhteiskunnan edetessä	114
Innotalo suomalaisten innovaatioiden esittelyyn	119
Tiede- ja teknologiaministeri vastaamaan	
tiede- ja teknologiapolitiikan kehittämisestä	120
7. Tie kestävään yleissivistykseen	121
Vanhakantainen yleissivistys voimissaan	121
Yleissivistyksen puutteet tieteen	
ja tekniikan pelkojen lietsojana	123
Uusi yleissivistys lähtökohdaksi	126
Tekniikan suurten järjestelmien	
tuntemus osaksi yleissivistystä	127
Yleissivistys ajan tasalle koulutuksessa ja mediassa	130
8. Tie kestävään demokratiaan	133
Gallup-demokratia ja verkkoyhteys	
korvaavat kansanedustajat?	133
Eduskunnasta demokraattisempi	135
Eduskunnan valittava huolella kuultavat asiantuntijat	136
Suomen ja Kiinan hallitukset ääritapauksia	138
Tulevaisuusvaliokunta suomalainen	
innovaatio demokratian kehittämiseksi	139

9. Tietoyhteiskunnan tulevaisuus	142
Kestävän tulevaisuuden lähtökohdat	143
Tietoyhteiskunnan tulevaisuuden tekijät	145
Luonnon aiheuttamia kestävä tulevaisuuden ongelmia	147
Maapallon ulkopuoliset sivilisaatiot tietoyhteiskunnan vauhdittajana?	150

LUETTELO LYHENNYKSISTÄ

Kertoimia

n	nano	miljardiosa
μ	mikro	miljoonasosa
m	milli	tuhannesosa
k	kilo	tuhat
M	mega	miljoona
G	giga	miljardi
T	tera	miljoona miljoonaa
P	peta	miljardi miljoonaa

Tehon ja energian mittayksiköitä

GW	gigawatti = miljardi wattia tehoa
i-m3	irtokuutiometri haketta = energiaa 903 kWh
joule	energian perusyksikkö wattia sekunnissa
k-m3	kiintokuutiometri puuta= 2,5x i-kuutiometriä
kWh	kilowattitunti energiaa = tuhat wattia 3600 sekunnin (tunnin) ajan
Mk-m3	miljoona kiintokuutiometriä puuta = primäärienergiaa noin 2 (2,25) TWh
MW	miljoona wattia tehoa
Mtoe	miljoonaa öljytonnia vastaava energiamäärä (11,63 TWh)
PJ	miljoona miljardia joulea energiaa (0,2778 TWh)
toe	öljytonnia vastaava energiamäärä (11 630 kWh)
TWh	terawattitunti energiaa = miljoona miljoonaa wattia 3600 sekunnin (tunnin) ajan
W	tehon perusyksikkö watti

Lyhenteitä

AMK	ammattikorkeakoulu
BAU	Business As Usual, toiminta jatkuu kuten tähän asti
BKT	bruttokansantuote
BP	British Petroleum
CAN	Climate Action Network, Eurooppalainen ympäristöjärjestö
CCPI	Climate Chance Performance Index (CAN, German Watch) ilmastonmuutostojen tehokkuusindeksi
CO2eq	ekvivalenttinen CO2-päästö kasviuonekaasupäästön vaikuttavuus CO2-päästönä ilmaistuna
CPT	Climate Policy Tracker (WWF, Ecofys)
DI	diplomi-insinööri

Ecofys	saksalainen uusiutuvan energian konsulttiyritys
Efi	Euroopan metsäinstituutti
EU	Euroopan Unioni
FT	Fischer-Tropsch-prosessi, biopolttonesteiden valmistusmenetelmä
German Watch	saksalainen ympäristöjärjestö
GPS	Global Positioning System, satelliittipaikannusjärjestelmä
Hadley Centre	Englannin ilmatieteenlaitos
IAASA	International Institute for Applied Systems Analysis Kansainvälinen sovelletun systeemianalyysin tutkimuslaitos
IAEA	International Atomic Energy Agency, Kansainvälinen atomienergia järjestö
IEA	International Energy Agency, kansainvälinen energiajärjestö
IPE	Intergovernmental Panel on Energy, Hallitusten välinen energia- paneeli (YK)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change Hallitusten välinen ilmastomuutospaneeli (YK)
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor, Kansainvälinen fuusiokooreaktori
JET	Joint European Torus, Yhteinen Euroopan fuusioreaktori
Led	Light Emitting Diode, valodiodi
MEMS	Micro-electromechanical system, mikrosähkömekaaninen systeemi
METLA	Metsäntutkimuslaitos
NAO	North Atlantic Oscillation, Pohjois-Atlantin ilmaston värähtely
NMT	Nordic Mobile Telephone, Pohjoismainen matkapuhelinjärjestelmä
PM _{2,5}	Alle 2,5 mikrometrin pienhiukkaset
ppmv	miljoonasosa tilavuudesta
STUK	Säteilyturvakeskus
SYKE	Suomen ympäristökeskus
t	tonni
TFC	Total Final Consumption, energian loppukäyttö
t&k	tutkimus ja tuotekehitys
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
THL	Terveys- ja hyvinvoinnin laitos
TKK	Teknillinen korkeakoulu
TPES	Total Primary Energy Supply, energian kokonaiskäyttö
VTI	mikrosähkömekaanisia komponentteja valmistava yritys
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
WHO	World Health Organisation, Maailman terveysjärjestö
WWF	World Wide Fund for Nature, Maailman luonnonsäätiö

1.

Tulevaisuuden haasteet

Maailma on maapallon laajuinen

Ihmiskunta elää parhaillaan muutokautta, joka on verrattavissa teollisuusyhteiskunnan alkuaikojen murrosaikaan. Tekniikan kehitys on johtanut teollisuusyhteiskunnasta tietoyhteiskuntaan. Tieto- ja tietoliikennetekniikka ovat globalisoineet maailman. Globalisaatio on muuttanut ja muuttaa työn ja toimintaympäristön.

Tietoyhteiskunnassa tieto ja osaaminen ovat pääosassa. Uutta tietoa hankitaan järjestelmällisesti tutkimuksella ja osaaminen taataan koulutuksella, kuva 1. Tietoyhteiskuntaa pitäisikin oikeastaan nimittää tietämysyhteiskunnaksi kuten englanninkielessä (knowledge society). Suomessa tietoyhteiskunta käsitetään usein väärin tietotekniikkayhteiskunnaksi, tietokoneen käyttöön perustuvaksi yhteiskunnaksi. Vastavasti olisi teollisuusyhteiskuntaa pitänyt nimittää sähköyhteiskunnaksi, koska sähkö tuli yleiseen käyttöön teollisuudessa ja kodeissa.

Osaamiseen ja tietoon perustuvan globaalin tietoyhteiskunnan eteneminen on haasteellista kehittyneille maille, sillä kansainvälisessä työnjaossa tuotantoa työpaikkoineen siirtyy sinne, missä työvoima on

riittävän osaavaa ja markkinat lähellä. Kehitysmaille globalisaatio tarjoaa uusia mahdollisuuksia, joihin niiden on tartuttava menestyäkseen. Etelä-Korea on hyvä esimerkki. Se oli parikymmentä vuotta sitten vielä köyhä kehitysmaa, mutta ohittaa kohta tekniikan taitamisessa ja vauraudessa Suomen.

Maailma on ihmisen näkökannalta nopeasti laajentunut. Vielä 1960-luvulla tarvitsin professorina opetusministerin henkilökohtaisesti allekirjoittaman lupakirjeen käydäkseni konferenssimatkalla Tukholmassa. Nyt nuoret kulkevat eripuolilla maailmaa kiinnostuksensa mukaisesti. Kun pojantytär oli neljä kuukautta opiskelustipendimatkalla Japanissa, hän lähetti kotiin päivittäin internetin kautta tietoa ja kuvia toimistaan.

Pidämme itsestään selvänä, että voimme televisiosta seurata maapallon eri puolilla tapahtumia reaaliajassa taivaalla paikoillaan pysyvän satelliitin kautta. On kuitenkin vain muutama kymmenen vuotta siitä, kun ensimmäinen tietoliikennesatelliitti Telstar lähetti tv-ohjelmaa Tokion olympialaisista. Satelliitti kiersi maapalloa, joten lähetystä voitiin seurata vain parikymmentä minuuttia kerrallaan.

Maailma on ihmisen kokemuspiirin laajentuessa samalla kutistunut. Radiotekniikan kehitys on muuttanut lankapuhelimen kännykäksi, henkilökohtaiseksi jatkuvatoimiseksi yhteysvälineeksi riippumatta käyttäjän sijaintipaikasta maapallolla. Parinkymmenen maapalloa kier-

Kuva 1. Tietoyhteiskunnan ominaisuudet

OSAAMISEN JÄRJESTELMÄLLINEN KEHITTÄMINEN

KOULUTUS

ELÄMÄNÄIKÄINEN OPPIMINEN

UUDEN TIEDON JÄRJESTELMÄLLINEN ETSINTÄ

TIETEELLINEN TUTKIMUS

SOVELLETTU TUTKIMUS JA TUOTEKEHITYS

Tietoyhteiskunta eli tietämysyhteiskunta perustuu kansalaisten osaamiseen sekä uuden tiedon hankkimiseen ja soveltamiseen tutkimuksen ja tuotekehityksen avulla. M.Tiuri 23.10.2008.

tävän GPS-satelliitin ansiosta navigaattorivastaanotin kertoo sijainnin kaikkialla maapallolla muutaman metrin tarkkuudella. Paikanmääritys perustuu radioaaltojen kulkueroihin kolmesta tai useammasta satelliitista. Radioaallot kulkevat 0,3 metriä sekunnin miljardisosassa, joten on pitänyt kehittää myös tarkkuuskelloja. Maailman tarkin kello heittäisi nyt sekunnin, jos se olisi käynnistetty maailmankaikkeuden syntyhetkellä 13,8 miljardia vuotta sitten.

Tekniikan kehitys on vasta alkutekijöissään. Tietoliikenne verkkoineen tarjoaa yhä monipuolisempia palveluita. Internetin kautta voimme joustavasti hankkia tietoa eri puolilta maailmaa mitä moninaisimmista asioista ja osallistua sosiaalisiin verkkoihin. Uusien tekniikan alojen kuten nanotekniikan ja geenitekniikan vaikutukset ulottuvat tekniikan lisäksi monille muille aloille.

Ikäkkäille entinen maailma on enää muistikuvissa. Itse olen elänyt lapsuuteni maatilalla, jossa ei ollut sähköä eikä puhelinta. Radio hankittiin kun olin kolmivuotias. Torvesta kuuluvaa ääntä ihmetellessäni minulle selitettiin, että sen sisällä on pieni mies. Valitettavasti nykyajan tekniikan käyttäjistä monikaan ei vastaavasti tiedä tekniikasta juuri sen enempää.

Monia kehitys pelottaa, koska maailma tuntuu muuttuvan liian nopeasti. On syntynyt tieteeseen ja tekniikkaan epäluuloisesti suhtautuvia yhden asian liikkeitä, jotka haluavat palata ”vanhoihin hyviin aikoihin” kuten luomutuotantoon ja ”geenivapaaseen” ruokaan, sekä energiantuottamiseen tuulimyllyillä ja puuta polttamalla. Epäillään jatkuvan taloudellisen kasvun johtavan luonnonvarojen loppumiseen, luonnon monimuotoisuuden heikkenemiseen ja ympäristön saastumiseen.

Paluuta menneeseen ei ole. Maapallon väestö kasvaa vielä, ja kehitysmaat haluavat parantaa elintasoaan. Kiina ja Intia ovat päässeet kehitysvauhtiin. Vain pääosa Afrikan maista on syrjässä. Vaikka kehittyneissä maissa kulutusta pakkokeinoin rajoitettaisiinkin, maailman kehityksen pysäyttäminen nykytasolle veisi katastrofin. Luonnonvarat riittäisivät vain hetken, ja ympäristö pilaantuisi entistä nopeammin.

Oikea ratkaisu on tiedettä ja tekniikkaa kehittämällä päästä kestäväns tulevaisuuden tielle. Siihen tarvitaan myös taloudellista kasvua. Typpi- ja rikkipäästöjen vähentäminen sekä otsonikadon poistaminen ovat esimerkkejä ympäristöongelmien ratkaisemisesta tiedettä ja tekniikkaa soveltamalla. Nyt on ajankohtaista kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttaman ilmastomuutoksen hillitseminen. Sen ratkaiseminen on monin verroin vaativampi tehtävä, koska se liittyy yhteiskunnan päätoimintoihin energian ja ruuan tuotantoon. Tarvitaan monipuolista asiantuntemusta ja tutkimustulosten hyväksikäyttöä sekä panostusta erityisesti teknillisten tieteiden ja luonnontieteiden perus- ja sovelta-vaan tutkimukseen.

Kansalaisilta puolestaan edellytetään tieteen ja tekniikan perustie-toja. Globalisaatio ja tekniikan jatkuva kehitys asettaa demokraattisen järjestelmän toimintakyvyn entistä vaativimpien haasteiden eteen. Maailmasta on tullut yhä monimutkaisempi. Oikeiden päätösten teko edellyttää päättäjiltä asiantuntemusta tietoyhteiskunnan perusasioissa. Muutos on ollut niin nopea, että demokraattisen järjestelmän toimin-taperiaatteet ovat jääneet jälkeen.

Tässä kirjassa pyritään selvittämään miten päästään kestäväns tulevaisuuteen. Tie kestäväns tulevaisuuteen on mahdollinen, mutta tiellä on monia esteitä. Tarvitaan tiedettä ja tekniikka, mutta myös yleissivistyksen ja muun koulutuksen parantamista ja demokratian toimivuuden kehittämistä.

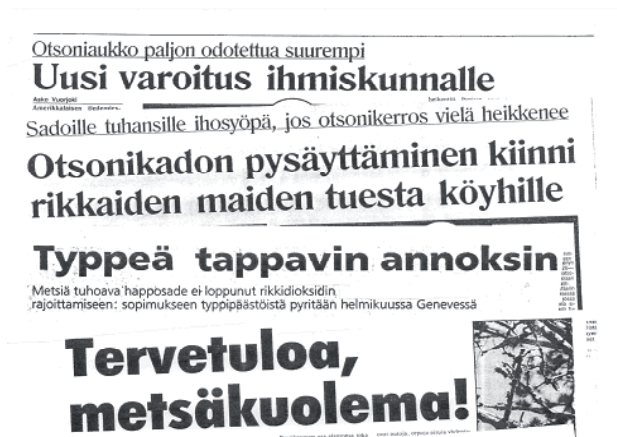
Vaihtuvat ympäristöongelmat

Viime vuosikymmeninä hyvinvoinnin edistyessä ympäristöongelmat ovat tulleet ajankohtaisiksi ja niiden ratkaiseminen tärkeäksi osaksi julkista keskustelua ja politiikkaa. Vaativin ympäristöongelma on ilmastomuutos ja sen hillitseminen kestäväns energiaan pyrkien. Tätä käsitellään luvuissa 2–5.

Ympäristöongelmia tuodaan esiin mediassa, mutta tiedon puuttuessa usein liioitellen, kuva 2. 1980-luvun alkupuolella päähuomio kohdistui haposateisiin, joiden uskottiin tappavan kalat järvistä ja tuhoavan metsät. Tutkimus osoitti typpi- ja rikkipäästöjen haitat. Rikkipäästöjen vähentämiskeinoja oli jo kehitetty tai kehitettiin. Typpipäästöjen vähentämiseksi oli autoihin kehitetty katalysaattorit. Tieteellinen näyttö, tekniikan mahdollisuudet ja kustannukset olivat tiedossa, joten tarvittavista toimenpiteistä päästiin sitoviin kansainvälisiin sopimuksiin. Hyödyllisenä seurauksena liioitelluista visioista sovittiin Helsingissä 1985 rikkipäästöjen vähentämisestä ja Sofiassa 1988 typpipäästöjen vähentämisestä.

Seuraavaksi huomion kohteena oli otsoniaukko yläilmakehässä talvisin. Avaruustutkimuksen satelliittimittaukset osoittivat 1980-luvulla dramaattisesti otsonin vähenemisen yläilmakehässä eli otsoniaukon olemassaolon. Aukon seurauksena ihmiselle haitallinen auringon ult-

Kuva 2. Otsonikatoa ja haposateita koskevia lehtiotsikoita 1980-luvun alkupuolella



Otsoniaukon poistamiseksi tehtiin Montrealin sopimus CFC-aineiden käytön lopettamiseksi. Metsäkuolemien syiksi osoittautuivat epänormaaliit sääolosuhteet paitsi suuripäästöisten teollisuusalueiden mm. Kuolan Montsegorskin ja Tshekin teollisuuskeskusten ympärillä. M. Tiuri 1995.

raviolettisäteily maanpinnalla vahvistuu. Tutkimuksissa todettiin aukon johtuvan CFC-aineiden käytöstä bensiinissä, jääkaapeissa, suihkepulloissa ja vaahtomuoveissa. CFC-aineille kehitettiin korvaavia aineita. Montrealin sopimuksessa 1987 CFC-aineiden käyttöä rajoitettiin ja 1990-luvulla aineiden käyttö uusissa laitteissa kiellettiin. Otsoniaukosta on vähitellen tullut yhä vaatimattomampi.

Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuus 1986 tuotti suuria otsikoita. Niitä vauhditti onnettomuuden salailu ja tietämättömyys säteilystä ja sen vaikutuksista. Säteilyannoksissakin Neuvostoliitossa käytettiin vanhentuneita mittayksiköitä, jotka olivat satakertaisia länsimaissa käytössä oleviin. Vuonna 2000 YK julkaisi laajan selvityksen Tshernobylin seurauksista. Se perustui yli sadan asiantuntijan tutkimuksiin. Raportti ei enää herättänyt median mielenkiintoa, koska sen perusteella useimmat aikaisemmat sensaatioväitteet osoittautuivat perusteettomiksi. Tshernobylin vaarallisin seuraus on ydinvoiman kasvun pysähtymisestä johtuva ilmastomuutoksen kiihtyminen.

Ilmastomuutos on happosateita ja otsonikatoa monin verroin vaikeampi ympäristöongelma. Se on hyvin monimutkainen, monista seikoista riippuva ilmiö. Päästöjä tulee miljoonista voimaloista ja lämmityslaitteista. Lähes miljardi autoa tuottaa niitä. Peltoviljely aiheuttaa typpioksiduulipäästöjä. Maaperää käsiteltäessä hiiltä vapautuu ilmaan hiilidioksidina. Metsien hävittäminen tai kasvava käyttö lisää hiilidioksidia, vähentää metsien maaperään sitoutunutta hiiltä ja heikentää metsien hiilidioksidinielua. Lehmät tuottavat metaania ja niin edelleen.

Monitahoiseen ongelmaan on esitetty yksinkertaista ratkaisua. Vaaditaan säädettäväksi laki, jolla päästöt 2020 tai 2050 ovat pudonneet määräprosentin. Se johtaa ojasta allikkoon, koska vähentämiskeinojen vaikutuksia ei tunneta riittävästi, niitä ei ole olemassa tai niitä ei hyväksytty, eikä kustannuksiakaan tiedetä. Ilmastomuutoksen hillitsemisessä pätee vanha suomalainen sananlasku: markan suutari tekee viiden markan vahingon.

Esitetyt ilmastomuutoksen hillitsemiskeinot myös lisäävät terveydelle haitallisia pienhiukkaspäästöjä, joita kaikki polttoon perustuva energiantuotanto aiheuttaa. Pienhiukkasten vaarallisuus on vasta

hitaasti tulossa yleiseen tietoisuuteen. Epidemiologisten tutkimusten perusteella nykyisin tavanomaiset ilman pienhiukkaspitoisuudet lisäävät kuolleisuutta useilla prosenteilla. Maailman terveysjärjestö arvioi, että EU-25-maissa ne aiheuttavat 350 000 ennenaikaista kuolemaa vuosittain ja Suomessakin 1300.

Poliittiset päättäjät haluavat ottaa vastuun ilmastonmuutoksen hillitsemisessä, mutta se vaatii onnistuakseen paljon vahvempaa tietopohjaa sekä päättäjiltä, että kansalaisilta. Päättäjät eivät riittävästi kuuntele asiantuntijoita ja luottavat yhden asian liikkeisiin, jotka eivät ota kokonaisuutta huomioon. Demokratia ontuu sillä yleissivistys ei ole tietoyhteiskunnan edellyttämällä tasolla.

Globalisaation haasteet Suomelle

Globalisaation vuoksi Suomen tulevaisuus on yhä enemmän sidoksissa koko maailman tulevaisuuteen. Suomi on osa maailmantaloutta ja sen kriisit vaikuttavat suoraan Suomeen. Ympäristöongelmat ovat maailmanlaajuisia ja vaativat Suomessakin toimia niiden ratkaisemiseksi. Harvaanasuttuna pohjoisena maana oikeat ratkaisut ovat erilaisia kuin muissa maissa.

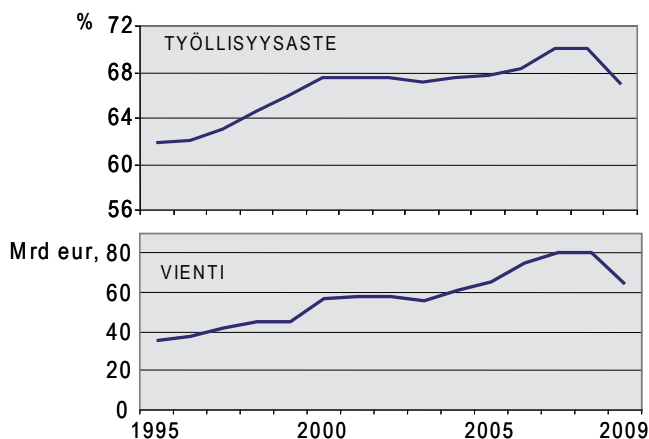
Suomi muuttui suhteellisen lyhyessä ajassa maatalousyhteiskunnasta teollisuusyhteiskunnaksi ja sitten tietoyhteiskunnaksi. Muutoksen nopeuden vuoksi sopeutumisvaikeuksia on enemmän kuin rauhallisemman kehityksen maissa. Koulutus ei ota riittävästi huomioon tietoyhteiskunnan tarpeita. Demokraattinen järjestelmä toimii ontuen kun kansalaisten tiedon tasossa on puutteita. Hallinto muun muassa ministeriöiden työnjaon ja kuntajaon osalta on jäänyt jälkeen.

Suomi on pystynyt käyttämään hyväkseen globalisoitumista. Globalisaation haasteet ovat erilaisia pienen kehittyneen maan ja kehitysmaiden kannalta. Suomelle globalisaatio on sekä etu, että uhka. Etu on, että voimme globalisaation ansiosta tuoda ulkomaisia tuotteita

ja palveluita, joiden käyttöä hyvinvointiyhteiskunnan toimiminen edellyttää. Terveystieteiden hoito on riippuvainen ulkomaisista lääkkeistä ja sairaalavälineistä. Ulkomaiset tietokoneet ovat perustavavälineitä. Yliopistojen perustutkimus ei ole mahdollista ilman ulkomaisia tutkimusvälineitä. Niitä tarvitsee myös yritysten tuotekehitys. Teollisuus tarvitsee ulkomaisia raaka-aineita ja komponentteja. Televisio-ohjelmat, elokuvat, musiikki, kirjat ovat osin ulkomaisia. TV-vastaanottimet ja kamerat ovat käytössä joka kodissa.

Tuonti on mahdollista vain, jos on vientiä, jolla se maksetaan. Uhka on, että emme pysty viemään riittävästi. Teollisuusyhteiskunnassa voitiin vähentää tuontiriippuvuutta ja lisätä omavaraisuutta ryhtymällä valmistamaan tuontia korvaavia tuotteita. Markkinoiden toiminta globaalisti on tehnyt sen pienessä maassa kannattamattomaksi. Poikkeuksia on. Esimerkiksi ydinsähköä pystytään tuottamaan Suomessa edullisesti ja turvallisesti. Sillä korvataan sähkön tuonti Venäjältä. Kausiluonteinen ylituotanto voidaan myydä Viroon ja Keski-Eurooppaan, kun pohjoismaainen sähkömarkkina-alue laajentuu sinne.

Kuva 3. Suomen työllisyysaste ja vienti 1995–2009.



Viennin omien työpaikkojen osuus työllisyydestä on kohtuullinen, mutta vienti mahdollistaa tuonnin, joka tarjoaa runsaasti palvelutyöpaikkoja, joten työllisyys riippuu suoraan viennistä.

M. Tiuri 2010. Viite: Tullitilastot, EK.

Tekniikan tiedon ja osaamisen ansiosta Suomi on pystynyt kasvattamaan vientiä tuontitarvetta vastaavasti. Viennistä 81 % (66 000 miljoonaa euroa) oli vuonna 2008 vientiteollisuuden tavaroita, pääosin investointituotteita. Palveluviennistäkin (15 000 miljoonaa euroa) osa oli vietyjen laitteiden huoltoa. Esimerkiksi musiikin vienti oli vain 23 miljoonaa euroa. Kulutustuotteiden massatuotanto on siirtynyt maihin, joissa on edullista työvoimaa ja laajat markkinat.

Viennin osuus kansantulosta vuonna 2008 oli 45 %. Sitä jotkut asiaa tarkemmin ajattelematta pitävät Suomen heikkoutena, josta pitäisi päästä eroon. Suuri viennin osuus on kansantalouden vahvuus. Pienessä maassa se on hyvinvoinnin edellytys. Suomi elää teknologian varassa. Vientiteollisuuden tuotteet nojaavat itse kehitettyihin innovaatioihin (kännykät, tietoliikennelaitteet, radiosondit, kiihtyvyysanturit, mittalaitteet, paperikoneet, hissit, dieselgeneraattorit, laivapotkurit, suuret risteilylaivat, päällystetty paperi jne.), ja innovaatioiden lisäksi omiin luonnonvaroihin kuten metallien perusteollisuus. Suomi on jo kymmeniä vuosia sitten ohittanut ajan, jolloin pärjättiin valmista tekniikkaa soveltamalla.

Tuonti mahdollistaa palvelutyöpaikkoja kaupan piirissä, laitteiden huollossa, hoivapalveluissa ja niin edelleen. Teollisuudenkin työpaikat ovat tuonnista riippuvia. Viennin ja tuonnin tasapainossa työllisyys riippuu suoraan viennin määrästä (kuva 3). Laman vähentäessä vientiä 2009 työllisyys heikkeni. Hyvinvoinnin turvaamiseksi tulevaisuudessa on vientiä lisättävä. Viennin lisäämisessä vientiteollisuuden kilpailukyky on avainasemassa.

Kilpailukyky voi perustua vain kansainvälistä tasoa olevaan osaamiseen ja uutta tietoa soveltaviin innovaatioihin. Mahdollisuuksien toteuttaminen edellyttää lisäpanostusta tekniikan ja luonnontieteiden perus- ja soveltavaan tutkimukseen sekä koko innovaatiojärjestelmän toimintakyvyn parantamiseen. Maailmanlaajuisesti globalisaatioon mukaan tulevat kehitysmaat hyötyvät, kun kehittyneistä maista teollisuutta ja työtä siirtyy niihin. Samalla siirtyy osaamista ja kehitysmaista tulee entistä kilpailukykyisempiä. Suuret kansainväliset yritykset eri-

tyisesti tietoliikennealalla antavat siten kehitysapua niille sekä uuden teollisuuden että tietoliikenneyhteyksien paranemisen kautta.

Suomen Nokia on ollut merkittävämpi kehitysavun antaja kuin Suomen valtio. Kehittyvät maat kuten Kiina ja Intia panostavat myös oman osaamisen kehittämiseen. Niiden parhaat tekniikan yliopistot ovat muutamassa vuodessa ohittaneet Suomessa resurssipulasta kärsivän Teknillisen korkeakoulun (Aalto-yliopiston) kansainvälisessä laatuarvioinnissa.

2.

Ilmastomuutos on uhkapeliä

Luonnonlait ja ihmiskunta syynä ilmastomuutokseen

Ilmastomuutoksella tarkoitetaan ihmiskunnan aikaansaamaa ilmaston muuttumista. Ilmastomuutos on todellinen, koska se perustuu fysiikan lakeihin. Kun kasvihuonekaasujen pitoisuus ilmakehässä kasvaa, maapallo lämpiää, sillä kasvihuonekaasut eivät haittaa auringon säteilyn pääsyä maapallon pinnalle, mutta vaimentavat lämpösäteilyä avaruuteen. Ne toimivat kuten lasikatto kasvihuoneessa.

Asia vaikuttaa selvältä, mutta kuten edellä on todettu, on erittäin monimutkainen, kun pyritään selvittämään mitä ilmastolle tapahtuu ja miten muutosta voidaan hillitä. Ilmastomuutoksen tärkeiden vuoksi tarvitaan tietoa ja keskustelua tarpeellisten ja oikeiden päätösten pohjaksi.

Ilmastomuutoksen arvioimista vaikeuttaa epätietoisuus ihmiskunnan aiheuttamien päästöjen määrästä ja erilaiset takaisinkytkennät, jotka joko kiihdyttävät (positiivinen takaisinkytkentä) tai hidastavat (negatiivinen takaisinkytkentä) ilmastomuutosta. Ihmiskunnan päästöjen määrä riippuu pääosin energiantuotannosta, ja viidesosalta

metsien hävityksestä. Meret edustavat positiivista takaisinkytkentää, sillä merivesi pystyy liuottamaan ilmakehästä hiilidioksidia sitä vähemmän mitä lämpimämpää vesi on. Negatiivinen takaisinkytkentä on esimerkiksi kasvillisuuden lisääntyminen hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa.

Luonnontieteilijät ja energiainsinöörit ovat olleet perillä kasvihuoneilmiöstä jo pitkään. Opiskellessani sähköinsinööriksi 1940-luvun lopulla energian tuotannon hiilidioksidipäästöjen kasvihuoneilmiöstä varoitettiin, mutta todettiin sen olevan vältettävissä tulevaisuudessa, kun sähköä tuotetaan ydinvoimalla. Ydinvoiman vastustajien vuoksi se ei näytä onnistuvan.

Auringon säteily tulee pääosin näkyvänä valona. Osa siitä heijastuu takaisin avaruuteen ilmakehän saasteista ja pilvien yläpinnoista, osa pääsee maapallon pintaan asti, mutta heijastuu lumikentiltä, vaalean jään pinnasta ja autiomaista osittain takaisin avaruuteen. Pääosa säteilystä lämmittää maapalloa. Maapallo puolestaan säteilee lämpösäteilyä avaruuteen sitä enemmän, mitä kuumempi se on. Tasapainolämpötilassa maapallo säteilee avaruuteen yhtä paljon lämpösäteilyä kuin se saa auringosta lämmöksi muuntuvaa valonsäteilyä.

Se, kuinka paljon maapallo pystyy säteilemään lämpöä avaruuteen, riippuu ilmakehässä olevista kasvihuonekaasuista sekä vesihöyrystä ja vesipisaroista. Vesihöyryä ei pidetä kasvihuonekaasuna, vaikka sen vaikutus on ylivoimaisesti suurin. Sen määrä on pääosin ihmisestä riippumaton. Ilman vesihöyryä ja muita kasvihuonekaasuja maapallon keskilämpötila olisi 15 astetta pakkasen puolella. Kasvihuoneilmiö on siten välttämätön elämälle maapallolla. Se on pitänyt keskilämpötilan elämälle edullisena. Keskilämpötilan vaihtelu vuodesta toiseen on ollut vain muutaman kymmenesosa-asteen.

Kasvihuonekaasuja on parikymmentä, mutta tärkeimmät niistä ovat hiilidioksidi, metaani, otsoni, typpioksiduuli ja kylmälaitteiden CFC-aineet. CFC-aineiden käyttö onneksi kiellettiin Montrealin sopimuksessa, koska ne aiheuttivat otsonikerroksen heikkenemistä yläilmakehässä. Vasta myöhemmin huomattiin, että ne ovat myös pahoja kasvihuonekaasuja.

Kasvihuonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä ovat vain miljoonasosia, mutta ne pystyvät tehokkaasti imemään maapallon avaruuteen lähettämää lämpösäteilyä estäen siten maapalloa jäähtymästä. Hiilidioksidi on peruskasvihuonekaasu, johon muiden tehokkuutta verrataan ilmaisemalla niiden pitoisuudet ekvivalenttisina hiilidioksidipäästöinä. Metaani on 25 kertaa hiilidioksidia tehokkaampi (t metaania = 25 t CO₂eq). Energian tuotannon, lannoitteiden ja maankäytön muutosten aikaansaama typpioksiduuli (ilokaasu) on lähes 300 kertaa tehokkaampi ja CFC-aineet tuhansia kertoja hiilidioksidia tehokkaampia.

Hiilidioksidi pysyy ilmakehässä yli 100 vuotta. Metaani häviää ilmakehän kemiallisten reaktioiden kautta 10 vuodessa, mutta CFC-aineet vasta 75–150 vuoden tai vielä pidemmän ajan kuluessa. Typpioksiduuli säilyy 175 vuotta. Pitkäikäisten kaasujen lisäämistä pitää erityisesti varoa.

Hiilidioksidi osallistuu hiilenkiertoon. Ilmakehässä on hiilidioksidia nykyisin noin 2800 miljardia tonnia. Biosfääri imee sitä vuosittain 370 miljardia tonnia ja tasapainotilassa (jos metsiä ei hävitetä lisää) luovuttaa lakastumisen ja lahoamisen kautta saman verran takaisin ilmakehään. Valtameriin liukenee 350 miljardia tonnia vuosittain ja lähes saman verran haihtuu ilmakehään. Pieni osa sitoutuu merenpohjaan orgaanisesti.

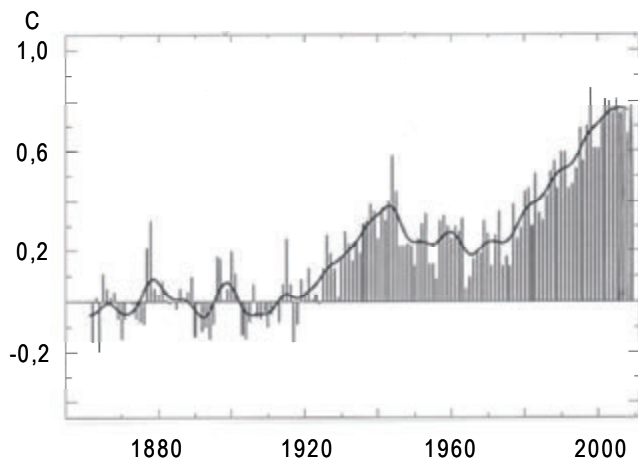
Ihmiskunta tuottaa ilmakehään vuosittain lähes 30 miljardia tonnia hiilidioksidia lähinnä energian tuotannosta ja yli 5 miljardia tonnia metsiä hävittämällä. Lähes puolet päästöistä imeytyy mereen, mutta loppuosa lisää joka vuosi ilmakehän hiilidioksidimäärää puolisen prosenttia. Ihmisen osuus näyttää vaatimattomalta luonnon rinnalla, mutta sen odotettavissa oleva vaikutus on suuri.

Ilmakehässä on luontevaa käsitellä hiilidioksidia, mutta maaperässä puhutaan hiilivarastoista. Hiilidioksidissa on mukana kaksi happiatomia, joten se on 3,7 kertaa hiiltä raskaampaa. Hiiltä on varastoitunut biosfääriin (metsiin, maaperään) 2000 miljardia tonnia, meriin 40 000 miljardia tonnia ja fossiilisiin polttoaineisiin ja vastaaviin 5000 miljardia tonnia.

Ihmiskunta on järkyttänyt ilmakehän tasapainoa tuottamalla sinne lisää kasvihuonekaasuja. Kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat niin alaiset, että niiden suhteellinen lisääminen on helppoa. Hiili-dioksidia on nyt ilmakehässä jo yli kolmasosa enemmän kuin 1800-luvun loppupuolella. Muiden kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat kasvamassa vielä nopeammin. Metaania on yli kaksinkertainen määrä luonnontilaan verrattuna. Huomattavan osan metaanista tuottavat lehmät ja muut märehtijät. CFC-aineiden pitoisuudet ovat Montrealin sopimuksen ansiosta hitaasti alenemassa.

Nyt on tultu siihen, että kasvihuoneilmiön oireet ovat jo havaittavissa, ilmastonmuutos on käynnissä. Luotettavat lämpötilamittaukset ulottuvat 150 vuotta taaksepäin. Sinä aikana maapallon keskilämpötila on noussut 0,8 astetta, kuva 4. Nyt 2000-luvulla maapallon keskilämpötila on melkein joka vuosi ollut suurempi kuin milloinkaan aikaisemmin mittausten aikana.

Kuva 4. Maapallon keskimääräisen pintalämpötilan muutokset 1860–2009



Lämpötilan nousu on ollut 0,8 astetta verrattuna 1800-luvun lopun keskilämpötilaan. Vaihtelut 40–50 vuoden jaksoin voivat olla merivirtojen muutosten aiheuttamia. Suomessa lämpötila 1930-luvulla on ollut lähes yhtä suuri kuin 2000-luvulla. Ref. Hadley Centre, UK.

Jokseenkin kaikki ilmaston tutkijat ovat yksimielisiä siitä, että maapallon keskilämpötila alkaa nousta kiihtyvällä vauhdilla, jos hillitsemistoimiin ei ryhdytä. YK:n asettama Hallitusten välinen ilmastomuutospaneeli IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) on valmistellut ja julkaissut paneelin ilmastoasiantuntijoiden ja -tutkijoiden yhteistyönä raportteja, jotka kuvaavat ilmastomuutosta ja sen seurauksia. Raportit ovat pohjana toimenpiteille ilmastomuutoksen hillitsemiseksi.

Maapallon ilmasto vaihdellut laidasta laitaan

Ilmastomuutoksen alkaminen ei kaikkien asiantuntijoiden mielestä ole kiistaton. Ilmasto on vaihdellut menneisyysdessäkin, kun ihmiskunnalla ei vielä ollut osuutta siihen. Pitkällä aikavälillä maapallon ilmasto on vaihdellut erittäin paljon. Näiden vaihteluiden suuruus ja syyt ovat tutkimuksen kohteena ja ne antavat hyödyllistä tietoa tulevaa ilmastoa ajatellen. Yksityiskohtaisen kuvauksen 4,5 miljardin vuoden ajalta eli maapallon syntyhetkestä nykyaikaan antaa Juha Pekka Lunkan palkittu kirja *Maapallon ilmastohistoria*.

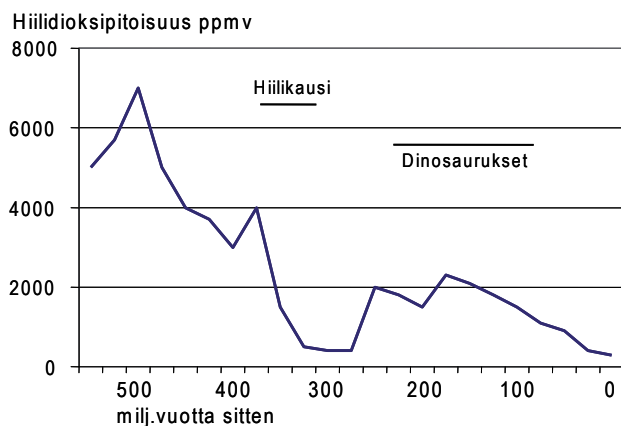
Maapallon synnyttyä 4,5 miljardia vuotta sitten ilmasto oli hyvin kuuma. Ilmakehässä oli runsaasti hiilidioksidia ja muita kasvihuonekaasuja. Vähitellen ilmakehään vapautui happea. Se vauhditti rapautumista ja siirsi hiilidioksidia ilmakehästä valtamerien pohjaan sedimenttikerroksiksi. Lopulta 2,5 miljardia vuotta sitten ilmasto kylmeni ratkaisevasti. Noin 850 miljoonaa vuotta sitten suuri osa mantereista oli jään peittämää. On jopa esitetty, että maapallo olisi ollut ajoittain kauttaaltaan jään peitossa (lumipallomaa). Sen jälkeisestä ilmastosta on parempaa tietoa elämän kehittymisen vuoksi.

Noin 540 miljoonaa vuotta sitten ilmasto lämpeni reippaasti ja elämä maapallolla alkoi kehittyä kiihtyvää vauhtia. Valtamerien pohjaan alkoi kerrostua kalkkikuoristen eliöiden kuoria. Kerrosten

muodostumisajat voidaan arvioida. Eri kerroksista otetuista näytteistä voidaan mitata hapen raskaan isotoopin suhteellinen osuus normaaliin happeen verrattuna. Veden molekyylit, joissa on tavallista happea, haihtuvat hieman helpommin meren pinnasta. Osa haihtuneesta vedestä päätyy mannerjääksi. Merivedessä on sitä enemmän raskasta happea, mitä enemmän maapallolla on jäätä. Vastaavasti raskasta happea on enemmän myös merenpohjan kerroksissa. Raskaan hapen suhteellinen osuus kertoo siis jäätiköihin sitoutuneen veden osuuden. Mannerjään vaihtelu puolestaan kuvaa lämpötilan vaihteluita.

Lämpötila nousi 540 miljoonaa vuotta sitten niin, ettei jäätiköitä ollut. Merenpinta oli satoja metrejä nykyistä korkeammalla. Lämpiyminen voi johtua mannerlaattojen liikkeistä ja runsaista tulivuorenpurkauksista, jotka syöttivät ilmakehään hiilidioksidia. Ilmasto kylmeni ajoittain, mutta pysyi suhteellisen lämpimänä. Noin 420 miljoonaa vuotta sitten mantereille alkoi siirtyä eläimiä ja kehittyä kasvillisuutta, kuva 5.

Kuva 5. Arvio ilmakehän hiilidioksidipitoisuudesta menneisyydessä



Pitoisuuden (ppmv= milj.osia tilavuudesta) vaihtelu kuvaa lämpötilan vaihtelua. Eri arviot eroavat toisistaan 300 miljoonasta vuodesta taaksepäin. Hiilikauden alussa voimakas metsien kasvu kuitenkin imi hiilidioksidin ilmakehästä ja oli pohjana nykyiselle kivihillelle. Ilmaston lämpiämistä 250 milj.vuotta sitten seurasi suurin massasukupuutto. Ilmasto on jatkuvasti kylmentynyt viimeisen yli 50 miljoonan vuoden ajan.

M. Tiuri 2010. Viite: Lunkka: *Maapallon ilmastohistoria*; Gaudeamus 2008.

Suomessa kasvoi sankka kostea trooppinen sademetsä 350 miljoonaa vuotta sitten. Mannerlaattojen liikkeet olivat tuoneet Suomen päiväntasaajalle. Kaikkialla tropiikin alueella syntyi paksuja lieko- ja saniaiskerroksia, jotka hapettomassa tilassa alkoivat kivettyä kivihiileksi. Valitettavasti myöhemmät jääkaudet ovat pyyhkineet kivihiilen pois Suomesta.

Ilmasto jäähdyi noin 320 miljoonaa vuotta sitten, johtuen mahdollisesti mannerlaattojen liikkeistä. Lämpiyminen alkoi äkkiä uudelleen 250 miljoonaa vuotta sitten nykyistä selvästi lämpimämmäksi. Syynä lämpiyminen voi olla valtava pitkäaikainen laavapurkaus Siperiassa. Laavaan peittyi 19 kertaa Suomen kokoinen alue. Ilmakehään tuli purkauksesta runsaasti hiilidioksidia. Muutos on mielenkiintoinen nykyisen ilmastomuutoksen kannalta. Merien lämpiyminen ilmeisesti johti merenpohjan metaanihydraattien sulamiseen ja tuotti metaanipulssiin ilmakehään. Syntyi positiivinen takaisinkytkentä, joka kiihdytti lämpiymistä. Ilmastomuutos aiheutti maapallon suurimman massasukupuuton, jolloin 95–99 % eläinlajeista hävisi.

Eläimistö alkoi vähitellen toipua ja dinosaurukset pääsivät valtaan. Liitukausi 142–65 miljoonaa vuotta sitten on myös nykyisen ilmastomuutoksen kannalta kiinnostava. Sankkaa metsää kasvoi arktisilla leveysasteilla, joilla nyt vallitsee tundra. Keskilämpötila arktisilla alueilla oli 20–25 astetta nykyistä lämpimämpi. Sen sijaan päiväntasaajalla keskilämpötila oli vain muutaman asteen nykyistä korkeampi. Mannerjäätiköitä ja lunta ei ollut lainkaan. Ilmastomalleilla ei vastaavaa tilannetta saada aikaan. Kolminkertaistamalla hiilidioksidipitoisuus maapallon keskilämpötila nousee neljä astetta, mutta pohjoiset leveysasteet jäävät liian kylmiksi ja tropiikki liian kuumaksi liitukauteen verrattuna.

Dinosaurukset viihtyivät liitukaudella lämpimässä Alaskassakin, joka silloin oli nykyistä pohjoisempana, mutta 65 miljoonaa vuotta sitten ne äkkiä kuolivat sukupuuttoon. Syyksi on vähitellen varmistunut asteroidin törmääminen Meksikoon Jukatanin niemelle. Ilmaan tullut vulkaaninen materiaali aiheutti maapallon jäätymisen useiksi vuosiksi. Ilmasto toipui vielä, mutta viimeiset 52 miljoonaa vuotta maapallon

ilmasto on jatkuvasti kylmentynyt. Pintalämpötilan jäähtyminen on entisestään kiihtynyt viimeisen 2,6 miljoonan vuoden aikana. Yhtenä syynä kylmenemiseen on todennäköisesti ollut rapautumisen aiheuttama negatiivinen takaisinkytkentä. Merenpinnan laskiessa yhä enemmän kiviainesta on altistunut rapautumisen kohteeksi.

Maapallolle alkoi muodostua mannerjäätiköitä, jotka välillä suurenivat välillä vetäytyivät pienemmiksi. Niissä alkoi esiintyä maapallon akselin kaltevuuden vaihteluun liittyviä 41 000 vuoden jaksollisuuksia. Alkoi jääkausien aika. Eniten mannerjäättä oli 20 000 vuotta sitten ja merenpinta oli 120 metriä nykyistä alempana.

Yhteenvetona menneen ajan ilmastotutkimuksista on pääteltävissä, että viimeisen 540 miljoonan vuoden aikana maapallolla lämpiminä kausina ilmassa on ollut runsaasti hiilidioksidia ja kylminä kausina vähän. Ei kuitenkaan ole varmuutta siitä kumpi on syy ja kumpi seuraus. Mannerlaattojen liikkeillä ja niiden vaikutuksilla merivirtoihin ja sääilmiöihin on ollut tärkeä osa. Liitukauden ilmasto olisi koko maapallon kannalta lähellä optimia. Ilmasto voi myös rynnätä kuten ilmeisesti tapahtui 250 miljoonaa vuotta sitten. Muutokset ovat aina olleet suhteellisen äkkiäisiä muutosta kiihdyttävien voimakkaiden takaisinkytkentöjen vuoksi.

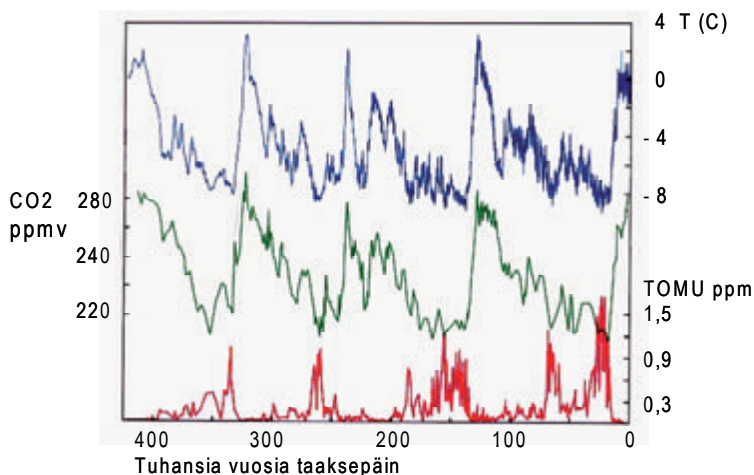
Jääkausi on nykymaapallon normaali tila

Maapallon ilmaston nykytilanteen ja ilmastomuutoksen kannalta olisi tärkeää ymmärtää mistä johtuvat lämpimät kaudet ja jääkaudet. Niistä on saatu tietoa viimeisten satojentuhansien vuosien ajalta Etelämantereen mannerjäältä. Lumikerrosten tiivistyessä vähitellen jääksi sulkeutuu sen sisään lumessa ollut ilma kuplina. Kairaamalla jäänäytteitä kilometrien syvyyteen voidaan eri kohdista ottaa ilma talteen rikkomalla jää tyhjiössä. Ilmanäytteistä pystytään suoraan mittaamaan hiilidioksidin ja metaanin määrä eri aikoina. Jäänäytteistä mitattu

veden raskaan hapen osuus antaa tarkan tiedon lämpötilasta, koska raskaan hapen vesimolekyyliä haihtuu suhteellisesti sitä enemmän mitä lämpimämpää on. Myös pölypitoisuus voidaan määrittää.

Etelämantereella eurooppalaisessa jääkairaututkimuksessa saatiin 2004 yhtenäinen jäänäyte yli 3 kilometrin syvyyteen asti. Se antoi tietoa hiilidioksidipitoisuudesta 800 000 vuoden ajalta. Venäjän Vostok-hanke 1990-luvulla on vastaavasti ulottunut 400 000 vuoden päähän, kuva 6. Grönlannin mannerjäältä on saatu tietoa 125 000 vuoden ajalta. Joissakin jäänäytteissä on päästy lähes nykyaikaan asti, niin että mittauksien tulokset on voitu vahvistaa ilmakehän suorilla hiilidioksidihavainnoilla, joita on tehty 1950-luvulta alkaen Havaijilla ja myöhemmin muuallakin.

Kuva 6. Maapallon pintalämpötilan sekä hiilidioksidin ja tomupitoisuuden vaihtelu menneisyydessä



Käyrät perustuvat VOSTOK- jääkairauksiin Etelämantereella. Maan kiertoradan elliptisyyden vaihtelu aiheuttaa noin 100 000 vuoden jakson. Radan tulevien vaihteluiden vuoksi uusi jääkausi voi tulla vasta kymmenien tuhansien vuosien kuluttua. Nykyisen lämpimän kauden aikana lämpötila on ollut suhteellisen tasainen ja mahdollistanut sivilisaation kehittymisen.

M. Tiuri 30.11.2009. Ref.: Hadley Centre UK.

Ilman hiilidioksidipitoisuus on lämpiminä kausina ollut 260–280 miljoonasosaa tilavuudesta (ppmv). Siihen se nousi suhteellisen nopeasti viimeistä edellisen jääkauden päättyessä 116 000 vuotta sitten ja vastaavasti viimeisen jääkauden päättyessä 11 500 vuotta sitten. Jääkauden aikana hiilidioksidipitoisuus on vaihdellut välillä 200–240 miljoonasosaa. Metaanin määrä on vaihdellut samalla tavalla kuin hiilidioksidin.

Ilmaston vaihtelut muuttuivat 800 000 vuotta sitten selvästi jaksollisiksi, Jaksojen pituus oli aluksi 23 000 ja 41 000 vuotta eli maapallon akselin huojunnan (precession) ja akselin kaltevuuden jaksollisuuden määräämä. Noin 430 000 vuotta sitten vaihtelun jaksoksi tuli 100 000 vuotta eli maapallon kiertoradan elliptisyyden vaihtelujakso. Samalla lämpötilan vaihteluista on tullut erityisen suuria ja selviä. Lämpimät kaudet alkavat suhteellisen äkkiä ja päättyvät hitaammin.

Lämmin kausi on kestänyt 10 000–20 000 vuotta, ja jääkausi 90 000–110 000 vuotta. Viimeisintä jääkautta edeltävä lämmin kausi oli 130 000–116 000 vuotta sitten. Ilmasto oli silloin pari astetta nykyistä lämpimämpi. Jääkairauksilla määritetyt ilmakehän hiilidioksidipitoisuus ja lämpötilan vaihtelut vastaavat toisiaan. Mittaustarkkuus ei riitä selvittämään, nouseeko hiilidioksidipitoisuus ennen lämpötilaa tai päinvastoin. On ilmeistä, että esiintyy vahvistava takaisinkytkentä, ja että maapallon nykyilmastolla on kaksi tasapainoasemaa, noin 100 000 vuoden jääkausi ja noin 15 000 vuoden lämmin kausi. Näyttää siltä, että lämpimän kauden loputtua hiilidioksidin pitoisuus pysyy aluksi vielä korkealla tasolla ja jokin muu syy kuin hiilidioksidin väheneminen aiheuttaa jäähtymisen. Tutkijat eivät ole selvillä siitä, mihin suuri määrä hiilidioksidia katoaa ilmakehästä jääkauden tullessa.

Jugoslavalainen tähtitieteilijä M. Milankovitch esitti jo 1941, että jääkaudet johtuvat maapallon akselin suunnan vaihteluista radan tasoon nähden ja maapallon radan elliptisyyden muutoksista. Akselin kaltevuuden suunnan vaihtelu 41 000 vuoden jaksoin saa aikaan, että eri pallonpuoliskojen saama auringon säteily vaihtelee vastaavasti jaksollisesti. Lisäksi maapallolle tulevan säteilyn määrään vaikuttaa muutaman prosentin verran maapallon radan elliptisyyden vaihtelu

100 000 vuoden jaksoin. On kuitenkin ollut epäselvää miksi juuri 100 000 vuoden jakso on ollut määräävä.

Nykyisen käsityksen mukaan jääkausi päättyy kun pohjoinen pallonpuolisko saa tavallista enemmän auringon säteilyä kesäaikaan. Silloin lumi ja jäät ennättävät kunnolla sulaa kesällä, eivätkä mannerjäätiköt pääse kasvamaan. Pohjoisella pallonpuoliskolla on paljon enemmän maata, jolle jäätä voi kerääntyä. Esimerkiksi Suomen leveysasteilla maapallon asennon ja etäisyyden muutoksista johtuu, että auringon säteily vaihtelee kesäaikana kymmenien tuhansien vuosien kuluessa jopa parikymmentä prosenttia. Säteilyn maksimikausia on kuitenkin useammin kuin lämpimiä kausia.

Uusimmat tutkimukset pyrkivät selittämään miksi juuri 100 000 vuoden jakso on ollut määräävä 480 000 vuoden ajan, vaikka maapallon akselin kaltevuuden vaihtelut vaikuttavat enemmän kesän säteilyn voimakkuuteen. Jääkausien tutkijat ovat huomanneet, että maapallon lämpötilan vaihtelut voidaan nähdä myös Kiinan tippukivissä. Tutkimuksissa on onnikin ollut apuna. Nanjingin lähellä Kiinassa jalkapalloa pelannut poika tipahti 1993 Hulun luolaan, joka on osoittautunut uuden tiedon lähteeksi. Tutkijat ryhtyivät selvittämään luolan tippukivien rakennetta. Osoittautui, että tippukivistä selvisivät jääkausien loppumisajat.

Tippukivikerroksen ikä saadaan selville kerroksen uraani-torium-suhteesta, koska uraanin hajoaminen toriumiksi alkaa kiven syntyhetkellä. Jääkauden aikana monsuunisateet ovat heikkoja ja sisämaahan tultaessa sateessa on jäljellä vähemmän raskaan hapen vesimolekyyliä, koska ne raskaampina putoavat maanpinnalle aikaisemmin. Vastaavasti niitä on vähemmän silloin syntyneissä tippukivikerroksissa. Jääkauden päättymistä seuraavien voimakkaiden monsuunisateiden aikana raskaan hapen määrä nousee jyrkästi ja ilmaisee myös lämpötilan.

Jääkausien tutkiminen on vaarallista, sillä etsiessään Hulun luolasta mahdollisimman vanhoja tippukiviä tutkijat eksyivät monihaaraiseen luolaan. Lepakot olivat vieneet ohjausnarun, mutta onneksi he lopulta löysivät ulos uusine näytteineen. Osoittautui, että tippukivissä raskaan hapen määrä nousi nopeasti jokaisen jääkauden loppuvaiheessa. Vahvo-

ja monsuunisateita esiintyi 3–4 kertaa myös muulloin, kun pohjoinen pallonpuolisko sai eniten auringon säteilyä kesäaikaan, mutta jääkausi ei silti loppunut.

Tutkijat arvioivat, että mannerjäättä kerääntyy vähitellen ja kun se on saavuttanut kriittisen paksuuden, se alkaa sulaa. Syynä sulamiseen voi olla, että jään painon kasvun vuoksi yhä suurempi osa jäätä painuu merenpinnan alle ja alkaa sulaa. Sulanut vesi pysäyttää Golfvirran ja meri etelässä lämpiää, kun lämpöä ei enää siirry pohjoiseen. Lämmin merivesi ei pysty pitämään entistä määrää siihen liuenutta hiilidioksidia ja alkaa luovuttaa kaasua ilmakehään. Syntyy vahvistava takaisinkytkentä ja jääkausi päättyy mannerjään sulaessa ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa. Ilmakehän hiilidioksidimäärän jatkuva hidas väheneminen satojentuhansien vuosien kuluessa voi osaltaan vaikuttaa 100 000 vuoden jaksollisuuden esiintuloon. Ilmeisesti on kysymys erittäin herkästä ilmiöstä. Sen ymmärtäminen on välttämätöntä arvioitaessa maapallon ilmaston tulevaisuutta. Kiertoradan jaksollisuudet tulevaisuudessa vaikuttavat säteilyn vaihteluun vähemmän kuin menneisyydessä, joten on mahdollista, että uusi jääkausi tulee vasta muutamana kymmenen tuhannen vuoden kuluttua. Tarvitaan lisätutkimuksia.

On myös mahdollista, että itse aurinko on muuttuva, ja ilmaston vaihtelut johtuvat siitä. Maan pinnalta käsin on sääilmiöiden vuoksi ollut mahdotonta mitata auringon säteilyn muutoksia, mutta satelliittimittauksilla se onnistuu. Säteily vaihtelee ainakin auringonpilkkujen mukaan. Kun auringonpilkkuja on paljon, aurinko säteilee kymmenesosan prosenttia enemmän valoa kuin auringonpilkkujen ollessa alhaisimmillaan. Erityisesti kasvaa ultraviolettisäteilyn osuus. Sen voimakkuus on lisääntynyt jopa puolella lyhytaaltoisen ultraviolettisäteilyn alueella.

Auringonpilkkujen lukumäärä vaihtelee jaksollisesti noin 11 vuoden välein ja niiden ja auringon magneettikentän suunta 22 vuoden välein, joten vastaavasti maapallon lämpötila vaihtelee 11 ja 22 vuoden jaksoina ainakin joillakin alueilla. Auringonpilkkuminimi 2008–2009

oli poikkeuksellisen pitkä. Suuren osan vuotta 2008 ja vuoden 2009 aikana pilkkuja ei ollut lainkaan.

Tutkijat ovat todenneet, että erikoisen kylmät talvet Pohjois-Euroopassa ovat todennäköisimpiä, kun pilkkuja on vähän. Se voi liittyä Pohjois-Atlantin heilahteluilmiöön eli ilmakehän ja merivirtojen jaksollisiin vaihteluihin Pohjois-Atlantin alueella (North Atlantic Oscillation, NAO). NAO on nyt tulossa vaiheeseen, jossa ilmasto viilenee. Tukijat ennustivat jo syksyllä 2009, että lähivuosina ilmasto on viileämpi.

Itämeren jäätymistä on mitattu parinsadan vuoden ajan. Jäätynyt alue muuttuu vuodesta toiseen, mutta olen todennut, että auringonpilkkujen huippuaikoina jäätynyt alue on keskimäärin pienempi kuin silloin, kun auringonpilkkuja on vähän.

Maapallon sääilmiöiden moninaisuudesta johtuu, että joillakin paikkakunnilla sataa keskimääräistä enemmän auringonpilkkujen huippuaikaan, toisilla paikkakunnilla taas, kun auringonpilkkuja on vähän. Kuivuudesta johtuvat nälänhädät ovat menneinä vuosina usein esiintyneet auringonpilkkujen huippuaikoina.

Auringon oletetaan kuitenkin pitkinä ajanjaksoina (miljoonien vuosien kuluessa) olevan jokseenkin muuttumattoman, joten suuret ilmaston vaihtelut eivät johdu siitä.

Uusi jääkausi tulossa?

Jos maapallon ilmasto kehittyi kuten ennen ilmastomuutosta, jääkausi tulee ennen pitkää. Viimeinen jääkausi ja sen lopun vaiheet osoittavat maapallon ilmaston suuren ja yllätyksellisen vaihtelevuuden. Jääkauden aikana 116 000–18 000 vuotta sitten Suomessakin on ajoittain kasvanut mäntymetsää, välillä jää on peittänyt maan. Kylmät kaudet ovat usein olleet tuhansien vuosien mittaisia ja muutos lämpimään on voinut tapahtua muutamassa kymmenessä vuodessa. Ilmastovaihtelun arvioidaan johtuvan sulavesien purkauksista, merivirtojen muutoksista, jäätiköiden sulamisesta ja maapallon kiertoradan aiheuttamista auringonsäteilyn muutoksista. Nyt ollaan menossa kohti kesäajan säteilyn minimiä, mikä merkitsisi jääkauden tuloa.

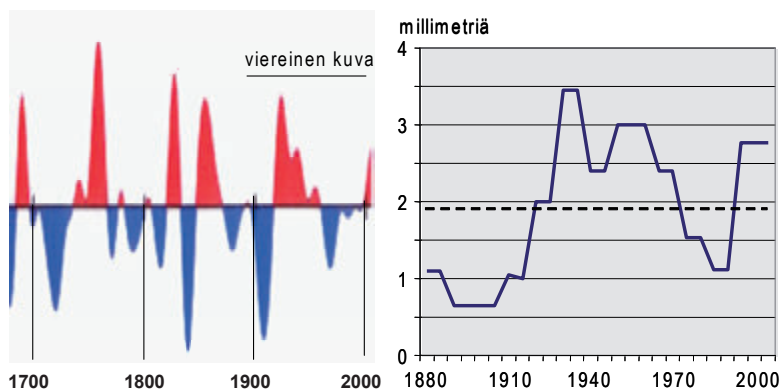
Jääkauden loppupuolella mannerjäätikön paksuus kasvoi erityisesti Pohjois-Euroopassa. Se oli paksuimmillaan 18 000 vuotta sitten ja alkoi sulaa nopeasti. Sulaminen pysähtyi äkkiä 12 700 vuotta sitten tuhanneksi vuodeksi. Syynä oli Pohjois-Amerikan suuren sulavesijärven purkautuminen Pohjois-Atlantille. Normaalisti Golf-virta tuo lämmintä vettä Pohjois-Atlantille. Siellä haihtuminen jäähdyttää veden ja siitä tulee suolaisempaa ja raskaampaa. Raskas vesi painuu pohjaan ja virtaa takaisin etelään. Makean veden purkaus pysäytti kierron ja ilmasto kylmeni äkkiä väliaikaisesti. Pohjoisen pallonpuoliskon kesäajan säteily saavutti maksiminsa 11 500 vuotta sitten ja jääkausi päättyi Milankovitchin teorian mukaisesti lopullisesti. Suomen vapautumisesta mannerjäätästä on 10 000 vuotta.

Nykyisellä lämpimällä kaudella ilmaston vaihtelut ovat olleet paljon pienempiä kuin jääkaudella. Noin 8200 vuotta sitten purkautui viimeinen jäätikköjärvi Atlanttiin ja merenpinta nousi hetkellisesti yli metrin. Ilmasto kylmeni pariksisadaksi vuodeksi laajoilla alueilla. Maapallolla on esiintynyt varsinkin lämpimän kauden alkupuoliskolla kymmenien tai satojen vuosien jaksoja, jolloin lämpötila on ollut useita asteita nykyistä korkeampi. Hyvin lämpimät ilmastojakso ovat esiintyneet osin samanaikaisesti osin eri aikoina eri puolilla maapalloa. Siitepölyanalyysin perusteella Suomessa kesien keskilämpötila oli kaksi

astetta nykyistä korkeampi noin 8000–5500 vuotta sitten. Noina aikoina kasvaneesta suoturpeesta löytyy vesipähkinöitä, jota nykyisin kasvavat Pohjois-Saksassa. Saharan järvet kuivuivat 5000 vuotta sitten ja Suomessa oli normaalia kylmempää. Erittäin kostea ja kylmä ilmasto vallitsi Suomessa 3800–3200 vuotta sitten.

Puiden lustoista saadaan tietoa lämpötiloista vuoden tarkkuudella. Suomessa on luotu Lapin mäntyihin perustuva yhtäjaksoinen lustokalenteri 7600 vuoden ajalta, kuva 7. Mäntymetsän rajalla kasvu riippuu herkästi kesä-heinäkuun lämpötilasta, joten luston paksuutta voidaan käyttää kuvamaan lämpötilaa. Nyt on huomattu, että lustojen tiheys antaa lämpötilatietoa koko kesän ajalta, mutta tutkimus on vielä kesken.

Kuva 7. Männyn vuosilustojen paksuuden vaihtelu Suomessa

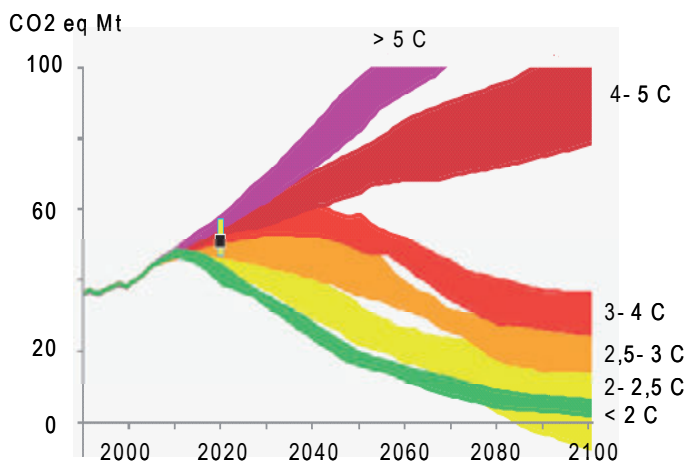


Vasemmalla lämpötilan vaihtelut Suomessa 300 vuoden aikana Lapin mäntyrajan kasvaneiden mäntien lustopaksuuden perusteella (Metsäntutkimuslaitos 2010). Oikealla kirjoittajan kesämökkillään Rantasalmella heinäkuussa 2007 kaataman männyksen lustojen paksuus. Vaihtelu on sama kuin Lapissa. Lämmin 1930-luku näkyi samoin lämpiäminen 2000-luvulla.

Keskiajalla vuosina 900–1250 Suomen, Euroopan ja ilmeisesti koko maapallon ilmasto oli lämmin. Grönlantia asutettiin ja siellä ruvettiin viljelemään vehnää. Ilmasto alkoi jälleen viilentyä ja Grönlannin maatilat jäivät lumen alle. Euroopassa satojen pienentyminen johti nälkiintymiseen ja mustaan surmaan, johon kuoli kolmasosa eurooppalaisista.

Euroopan ilmasto on ollut erityisen kylmä 1600- ja 1700-luvuilla ”Pikkujääkauden” aikana, jolloin esimerkiksi Thames-joki on jäänyt säännöllisesti. Ilmastovaihtelut ovat paikallisesti aiheuttaneet vaikeuksia, koska asukkaat ovat olleet riippuvaisia maanviljelystä, metsien peitosta ja säännöllisistä sateista. Näin on ilmeisesti käynyt muun muassa monille intiaanikulttuureille Amerikassa.

Kuva 8. Päästöskenaarioiden ja ilmastomallien perusteella arvioituja lämpötilan nousuja



CO₂eq sisältää energian CO₂-päästöjen lisäksi (22 miljoonaa tonnia v.1990) metsien hävittämisen ja maaperän hiilivaraston köyhtymisen päästöt (6 Mt 1990) sekä muiden kasvihuonekaasujen muun muassa metaanin päästöt (CO₂eq 7 Mt 1990). Valtaosa päästöjen kasvusta johtuu energian hiilidioksidipäästöjen kasvusta. IEA:n ennuste päästöjen kasvusta 2020 mennessä vastaa 5 asteen lämpötilan nousua.

Lähde: UNEP (2010) *The Emission Gap Report*.

Koska säteilyyn vaikuttavan kolmen muuttujan, maapallon akselin suunnan, akselin huojahtelun ja kiertoradan elliptisyyden vaihtelujaksot ovat eri pituiset ja lisäksi jäätiköt, meriin varastoitunut lämpö ja merivirtojen muutokset tapahtuvat viiveellä, on vaikea varmuudella ennustaa uuden jääkauden alkamisaikaa.

Ihmiskunnan toimien vuoksi hiilidioksidipitoisuus on alkanut nousta 1800-luvulta alkaen, jolloin se oli 280 miljoonasosaa tilavuudesta. Pitoisuuden vuosikeskiarvo ylitti 300 miljoonasosaa 1900-luvun alussa ja 350 miljoonasosaa vuonna 1988. Vuonna 2010 se oli jo 390 miljoonasosaa. Kasvu kiihtyy maailman talouden kasvuaikoina ja hidastuu lamakausina. 2000-luvulla kasvu on ollut entistä jyrkempää Kiinan ja Intian talouksien noustessa.

Ilmastomuutos on uhkapeliä

Maapallon ilmaston muutokset menneisyydessä osoittavat, että vaihtelut ovat usein yllättäviä, eikä syitä niihin riittävästi tunneta. Myös ihmisen aikaansaamaan ilmaston lämpiämiseen eli ilmastomuutokseenkin vaikuttavat monenlaiset sitä vahvistavat ja sitä heikentävät takaisinkytkennät. Osa niistä tunnetaan kohtalaisesti osasta ei ole tarkkaa tietoa tai tietoa ei ollenkaan. Ihmisen toiminasta johtuvat kytkennät voivat muuttua nopeasti. Takaisinkytkentöjen voimakkuudesta ja vaikutuksesta ”riidellään” tutkijoiden keskuudessa jatkuvasti. Se selittää erilaiset johtopäätökset ilmastomuutoksen suuruudesta ja merkityksestä.

Takaisinkytkennät eivät voi estää lämpiämistä, mutta teoriassa ne voisivat vaimentaa sen hyvin pieneksi niin, että se hukkuu luonnon aiheuttamiin muutoksiin. Vahvistavia takaisinkytkentöjä ovat muun muassa lämpiämisestä johtuva Jäämeren jään sulaminen ja lumipeitteen pinta-alan väheneminen talvella. Vaalea jää ja lumi heijastavat auringonsäteilyä takaisin avaruuteen, mutta paljas maa ja avoin meri

imevät sitä. Lämpäminen kiihtyy siten vuosi vuodelta. Tiheä metsä imee auringon säteilyn, mutta hakattu lumipeitteinen metsäalue heijastaa sen takaisin avaruuteen. Pilvien vaikutus on monimutkainen. Valkoiset pilvet heijastavat auringonsäteilyä avaruuteen, tummat pilvet imevät sitä.

Pöly ja pienhiukkaset ilmakehässä pyrkivät heijastamaan auringonsäteilyä takaisin avaruuteen ja edustavat siten lämpiämistä heikentävää takaisinkytkentää. Pinatubon tulivuorenpurkaus muutama vuosi sitten jäähdytti maapallon yli vuodeksi lähes asteen verran. Pohjoisilla leveysasteilla kuten Suomessa Pinatubon pölykerros ilmakehässä kuitenkin nosti keväällä lämpötilaa, sillä se esti lämpösäteilyä avaruuteen öisin kirkkaalla säällä. Hyvin suuri tulivuorenpurkaus voi jäähdyttää koko maapallon vaarallisen kylmäksi useiksi vuosiksi. Myös asteroidin törmäys voi tuottaa paksun pölykerroksen.

Merivirtojen ominaisuuksia ei vielä tunneta riittävästi. Ilmastonmuutos voisi ainakin teoriassa pysäyttää Golf-virran maajäätiköiden sulamisvesien tai Pohjois-Atlantin voimakkaiden sateiden vuoksi. Kuten edellä on todettu näin tapahtui useita kertoja viime jääkauden aikana ja sen loppuvaiheessa 12 000 vuotta sitten. Silloin Pohjois-Eurooppa jäähdyi useita asteita lyhyessä ajassa. Viime aikoina on saatu tutkimustuloksia, joiden mukaan muutos tapahtui yhden ainoan vuoden kuluessa. Yleensäkin maapallolla ilmastonmuutos voi paikallisesti erota keskimääräisestä muutoksesta.

Ilmastomalleihin ja energiantuotannon päästöihin perustuvat ennusteet osoittavat, että 2050 mennessä maapallon keskilämpötila nousee 2–5 astetta. Tarkemmin ei nousua pystytä arvioimaan johtuen monista epävarmuustekijöistä. Jos ihmiskunta jatkaa nykyisiä energian tuotantomenetelmiä ja muuta toimintaansa entiseen tapaan (Business as usual, BAU) lämpötila nousee vuoden 2030 jälkeen yhä jyrkemmin. Ilmastomallien mukaan pohjoisilla ja eteläisillä leveysasteilla esimerkiksi Suomen kohdalla keskilämpötilan nousu on kaksin kolminkertainen maapallon keskilämpötilan nousuun verrattuna. Eteläisimmässä Suomessa ei enää parinkymmenen vuoden kuluttua olisi talvea.

Suomessa kohtuullinen lämpötilan nousu voi olla edullista, mutta toisin on muualla maapallolla. Ennusteiden mukaan lämpötilan noustessa monet autiomaat laajenevat, ja nykyiset viljanviljelyalueet Yhdysvalloissa ja Venäjällä kuivuvat, jolloin maapallon elintarviketuotanto vaarantuu. Välimeren seutu kuivuu.

Suuria ongelmia aiheuttaa valtameren pinnan nousu, johon joudutaan, kun jäätiköt alkavat sulaa ilmaston lämpiämisen vuoksi. Valtaosa maapallon ihmisistä asuu meren rannalla, jolloin pienikin merenpinnan nousu aiheuttaa suuria vaikeuksia ja kustannuksia. Kuinka nopeasti jäät sulavat, on vielä hankalampi ennustaa kuin keskilämpötilan nouseminen. Arviot meren pinnan noususta vaihtelevat puoleentoista metriin vuoteen 2100 mennessä. Suuri osa Hollannista on jo nyt merenpinnan alapuolella patojen ansiosta. Ilmastokonferenssissa ihmettelin mitä tapahtuu Hollannille. Hollantilaiset tutkijat totesivat, että ainakin työtilaisuuksia hollantilaisille padonrakentajille on odotettavissa runsaasti ulkomailta.

Merenpinnan nousu jatkuu satoja vuosia vielä sen jälkeen kun ilmastomuutos on saatu pysäytetyksi. Grönlannin mannerjää sulaa vähitellen pois, jos lämpötila siellä nousee pysyvästi yli kolme astetta. On väitetty, että Grönlannin mannerjään sulaminen nostaisi valtamerien pintaa kuusi metriä. Maapallo on kuitenkin joustava. Merenpinnan etäisyys keskipisteestä vaihtelee sekä maapallon ellipsoidimuodosta riippuen että paikallisesti. Uusimpien Goce-satelliitin mittausten perusteella meren pinta Pohjois-Atlantilla on yli 60 metriä keskimääräistä korkeammalla. Intian eteläpuolella on yli 100 metriä syvä kuoppa. Kun Grönlannin jäätikön vetovoima poistuu, Atlantin vettä siirtyy Eteläiselle pallonpuoliskolle. Myös merenpohja joustaa, joten nousu jää paljon pienemmäksi. Etelämantereella mannerjää on ainakin toistaiseksi paksunemassa johtuen kosteuden kasvun tuottamasta lumisateiden lisäyksestä.

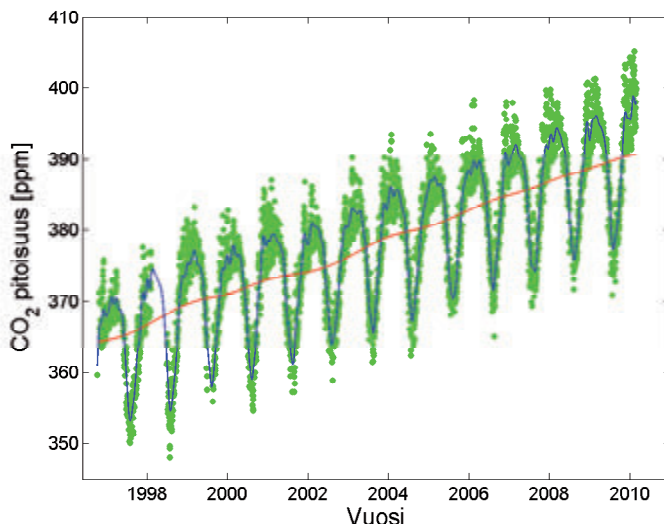
Ilmakehään jo nyt syötetyt ylimääräiset kasvihuonekaasut (kuva 9) pystyvät lämmittämään maapalloa huomattavasti. Vaikka niiden lisääminen lopetettaisiin heti, maapallon lämpötila nousee kymmenien vuosien ajan. Valtameret lämpiävät hyvin hitaasti, joten ne viiväs-

tyttävät lämpötilan nousua. Kasvihuoneilmiön torjumiseen on siis ryhdyttävä pian, jos halutaan estää maapallon liiallinen lämpiäminen tulevaisuudessa.

Kasvihuoneilmiön hillitseminen on suuri haaste poliittisille päättäjille, koska monenlaisia rajoituksia ja normeja pitäisi säätää jo nyt, ja niiden hyöty näkyy vasta kymmenien vuosien kuluttua. Ihmiskunta joutuu nyt ehkä ensi kerran historiansa aikana tekemään päätöksiä tieteeseen perustuviin laskelmiin nojautuen eikä jo havaittujen tosiasioiden perusteella. Muuten uhkaa toteutua vanha sanonta: ”Meidän jälkeemme vedenpaisumus!”

Maapallolla on 800 000 vuoden ajan ollut noin 100 000 vuotta kestäviä jääkausia ja niiden välillä 10 000–15 000 vuoden pituisia

Kuva 9. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu Pallastunturin mitausasemalla



Pitoisuus on pienin loppukesällä pohjoisen pallonpuoliskon laajojen maa- ja metsäalueiden kesäisin sitoman hiilidioksidin vuoksi. Pitoisuus on kasvanut 10 vuodessa 6 %. Metaanin pitoisuuden kasvuvauhdiksi on mitattu 5 % 10 vuodessa. Lähde: Ilmatieteen laitos.

lämpimiä kausia. Ihmiskunta saa kiittää menestyksestään nykyisen lämpimän kauden suhteellisen tasaista lämpötilaa, joka on antanut sivilisaatiolle mahdollisuuden kehittyä. Vaihtelu on 8000 vuoden aikana on ollut vain joitakin asteita. Paikalliset ja tilapäisetkin ilmastomuutokset ovat kuitenkin tuhonneet kulttuureja. Edellisellä lämpimällä kaudella 130 000–116 000 vuotta sitten vaihtelut olivat suurempia ja nopeita.

On mahdollista, että ilmastomuutos estää seuraavan jääkauden tulon, mutta muita vaikeuksia ihmiskunnalle tulee sitä enemmän. Ilmaston vaihtelut voivat olla suuria ja äkkinäisiä. Ilmastomuutoksen valloilleen päästäminen on uhkapeliä, jonka häviäminen voi olla katastrofi.

3.

Uusiutuva energia ei riitä

Energiantuotannon muuttaminen on hidasta ja kallista

Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n mukaan maailman kasvihuonekaasujen päästöjen on alennuttava vuoteen 2050 mennessä puoleen 1990 päästöistä, jotta ilmaston lämpiäminen rajoittuisi kahteen asteeseen. Ilmastonmuutosta aiheuttavista kasvihuonekaasujen päästöistä yli 80 % johtuu energiantuotannosta ja käytöstä.

Energiantuotannon päästöistä valtaosa on fossiilisia, uusiutumattomia polttoaineita käyttävien hiili-, öljy- ja maakaasuvoimaloiden sekä liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä. Öljyvoimala tuottaa päästöjä viidesosan hiilivoimalaa vähemmän ja maakaasuvoimala puolet vähemmän. Liikenteen päästöt ovat viidesosa maailman energiantuotannon päästöistä ja kasvavat nopeimmin. Energian käytön tehostaminen ja energian tuotannon muuttaminen vähäpäästöiseksi on avainasemassa. Se on erittäin vaativa tehtävä, kun aikaa on vain 40 vuotta, kuva 10.

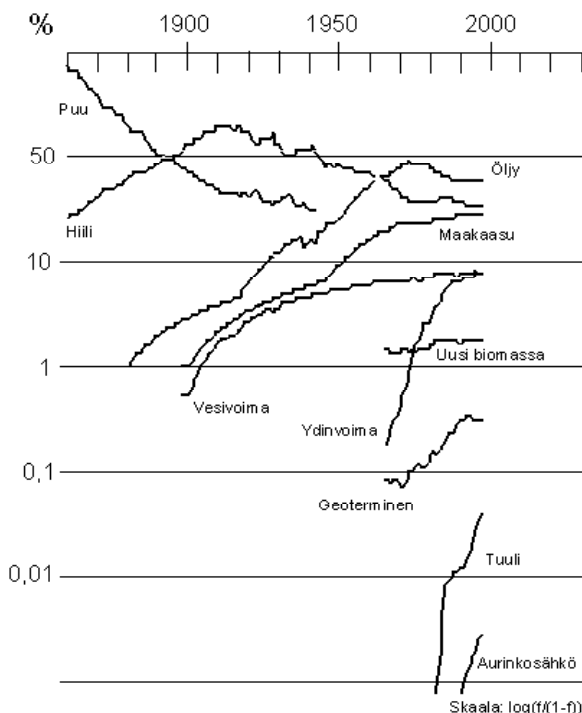
Energiajärjestelmän perusominaisuus on, että merkittävien muutosten aikaansaaminen on hidasta. Se johtuu voimaloiden pitkästä eliniästä ja tarvittavista valtavista investoinneista. Ydinvoimalan suun-

niteltu ikä on 60 vuotta, hiilivoimalan 40 vuotta ja tuulivoimalan 20–25 vuotta.

Maailman energiajärjestelmien kehitys 1800-luvulta nykypäivään osoittaa, että uuden energiantuotantomenetelmän kasvu prosentista 10 prosenttiin maailman energiasta on vienyt tyypillisesti 40 vuotta.

Alkuvaiheessa uuden energialähteen kehitys on nopeata, kun tarvittavat investoinnit ovat vaatimattomia, joten uuden tuotanto-

Kuva 10. Maailman eri energialähteiden osuus 1860–2000



Uuden energialähteen osuuden kasvu yhdestä 10 prosenttiin vie 40 vuotta johtuen voimaloiden pitkästä toimintaiästä (Vesi 100, ydin 60, hiili 40, tuuli 20–25 vuotta), ja suurista investoinneista (yli 26 000 miljardia USD 2030 mennessä). M. Tiuri 2003. Lähteet: IAASA, Nakicenovic; BP; IEA.

menetelmän edustajat voivat esittää komeita kasvulukuja. Esimerkiksi vuonna 2000 tuulisähkön tuotantokapasiteetti oli 17 400 MW ja 2007 lopussa jo 94 100 MW. Tuulisähkön vaihtelevuudesta johtuen tuulisähkön osuus 2008 oli kuitenkin vain noin puoli prosenttia maailman energian kokonaiskulutuksesta.

Energiajärjestelmiin on sitoutunut noin 40 000 miljardia USD. Kansainvälisen energiajärjestön (IEA, 2010) mukaan niihin on investoitava 2030 mennessä yli 26 000 miljardia USD, josta yli puolet on uusintainvestointeja. Päästövähennysten vauhdittamiseksi arvioidaan 2010–2030 tarvittavan lisäksi 12 000 miljardia USD.

Suuria hukkaan menneitä (kariutuneita) kustannuksia aiheutuu, jos voimalan toiminta joudutaan lopettamaan paljon ennen käyttöiän päättymistä. Tämä unohtuu usein, kun halutaan muuttaa energian tuotantotapaa nopeasti.

Eri energialähteiden vertailu perustuu energian kokonaiskulutukseen (TPES, Total Primary Energy Supply), joka yleensä ilmaistaan ekvivalentteina miljoonina öljytonneina, Mtoe. Öljytonnien sijasta se lausutaan usein myös petajouleina (PJ, miljardi miljoonaa joulea). Mtoe on 42 PJ. Kokonaiskulutus voitaisiin ilmaista myös terawattitunteina (TWh). Se voi johtaa harhaan, sillä TWh tunnetaan sähköenergian yksikkönä.

Kullakin polttoaineilla Mtoe saadaan lämpösisällön perusteella. Vesivoimalla, tuulisähköllä ja aurinkosähköllä Mtoe lasketaan tuotetun sähköön lämpösisällön perusteella. Ydinsähköllä Mtoe saadaan kertomalla sähköön lämpösisältö kolmella. Käytäntö perustuu ydinvoimaloiden keskimääräiseen hyötysuhteeseen. Sähköä saadaan noin kolmasosa reaktorin lämpöenergiasta. Olkiluoto 3 hyötysuhde on 38 %, joten oikea toe-määrä voitaisiin laskea lämpötehon perusteella.

Laskentatapa aliarvioi vesivoiman, tuulisähkön ja aurinkosähkön osuutta. Ydinsähköä ja vesivoimaa tuotetaan maailmassa lähes yhtä paljon, mutta tilastoissa vesivoima on kolmasosa ydinvoimasta. Kuvassa 10 onkin käytetty vesivoimalle tuulisähkölle ja aurinkosähkölle samaa laskutapaa kuin ydinvoimalle.

Energian loppukäyttö (TFC, Total Final Consumption) ottaa huomioon voimaloiden hyötysuhteen, joten se on kokonaiskulutusta pienempi. Energian kokonaiskulutus oli lähes 12 300 Mtoe vuonna 2008. Energian loppukäyttö oli vastaavasti 9000 Mtoe.

Uusiutuvaa energiaa: paluu 1700-luvulle?

Uusiutuvasta energiasta on tullut päätavoite ilmastonmuutoksen hillitsemiskeskusteluissa. Uusiutuva energia on energiaa, joka ei vähene käytettäessä, koska se uusiutuu jatkuvasti. Kasvihuonekaasupäästöjä ei tule, jos uusiutumisaika on lyhyt verrattuna tarkasteluaikaan. Puun ja biomassan, tuulen, auringon ja pienvesivoimaloiden katsotaan olevan tärkeimmät tulevaisuuden energialähteet.

Oikeastaan on kysymys paluusta menneisyyteen. Vielä 1700-luvulla energia saatiin puun poltosta, tuulimyllyistä ja vesipyöristä ja auringon lämmitti. Tekniikan kehityksen ansiosta on vähitellen päästy luomuenergiasta eteenpäin uusiin tietoa ja luonnon ominaisuuksia tehokkaammin soveltaviin energiantuotantomenetelmiin. Ratkaiseva askel on ollut sähkön keksiminen. Yhä suurempi osa energiasta on tulevaisuudessa sähköä. Sähkö on tehokasta ja joustavaa energiaa, joten sen osuuden kasvu vähentää energian kokonaiskulutusta. Elämme parhaillaan siirtymäkautta, jota on vauhditettava ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi.

Uusiutuvan energian osuuden lisäämisessä on runsaasti ongelmia, joita suurta lisäystä vaativat eivät ota huomioon. Uusiutuva energia joudutaan keräämään laajoilta alueilta, mikä vaatii suuria rakennustai keräilyaloja, kuva 11. Vuotuisen 10 TWh:n sähkön tuottamiseen tarvitaan metsää Keski-Euroopassa 450 000 hehtaaria, jotta siitä saatava puu riittäisi jatkuvaan tuotantoon. Tuulivoimalakentältä vaaditaan lähes 1000 hehtaaria siipien sieppauspinta-alaa. Vesivoimalassa vettä tarvitaan 165 miljoonaa tonnia 25 metrin korkeudesta. Edullisissa

olosuhteissa kuten Saharassa tarvitaan 40 neliökilometriä aurinkopaneeleita tuottamaan vuodessa sähköä yhden ydinvoimalan verran.

Uusiutuvaksi energiaksi luullaan usein energiaa, joka todellisuudessa ei sitä ole. Biomassa on uusiutuvaa, jos sitä käytettäessä sama määrä uutta biomassaa kasvaa tilalle. Tasapainotilanteessa näin on. Sen sijaan, kun ryhdytään lisäämään esimerkiksi puun käyttöä, vuotuiset päästöt kasvavat, koska lisätyn hiilidioksidin imeytyminen pois ilmakehästä kestää uusiutumisaajan, joka voi olla 50–100 vuotta. Metsäbioenergian lisääminen siis kasvattaa päästöjä lähivuosikymmeninä, vaikka niitä pitäisi nopeasti vähentää. Puunpolton päästöt ovat kuudennesosan suuremmat kuin kivihiilen.

Kuva 11. 10 TWh:n vuotuisen sähkön tuottaminen eri voimaloilla

1300 MW YDINVOIMALA (KÄYTTÖIKÄ 60 V.)

2 REKKAKUORMAA (50 TONNIA) URAANIPPUJA
LUOLA YDINJÄTTEILLE

1300 MW HIILIVOIMALOITA (40 V.)

100 LAIVALASTILLISTA (3 MILJ. TONNIA) KIVIHIILTÄ
TUHKAN LÄJITYSKENTTÄ

1300 MW MAAKAASUVOIMALOITA (40 V.)

2000 MILJ. KUUTIOMETRIÄ MAAKAASUA
KAASUPUTKI, ÖLJYN VARMUUSVARASTO

1300 MW VESIVOIMALA (YLI 100 V)

165 KUUTIOKILOMETRIÄ VETTÄ, PUTOUSKORKEUS 25 M

1300 MW HAKESÄHKÖVOIMALOITA (40 V.) :

333 000 REKKAKUORMAA (33 MILJ. KUUTIOM.) HAKETTA
KULJETUSMATKA ALLE 100 KM
(450 000 HA KASVAVAA ENERGIAMETSÄÄ)

4000 MW TUULIVOIMAKENTTIÄ KESKITEHKO 1300 MW (25 V.)

1300 KPL 3 MEGAWATIN TUULIMYLLYJÄ MERELLÄ
1000 HA SIIPIEN SIEPPAUSPINTAA
NOPEATA SÄÄTÖVOIMAA JA VARAVOIMAA
VAHVA SÄHKÖNSIIRTOVERKKO

6000 MW AURINKOSÄHKÖÄ, KESKITEHO 1300 MW

40 NELIÖKM AURINKOPANEELEITA (VÄLIMEREN ALUEELLA)
SÄHKÖNSIIRTOVERKKO

Uusiutuva energia vaatii laajoja keräämisalueita tai suurten massojen kuljettamista. 10 TWh:n hiilivoimalan hiilidioksidipäästöt ovat 8–10, maakaasuvoimalan 4 miljoonaa tonnia. Polttovoimalat tuottavat hiilidioksidin lisäksi pienhiukkaspäästöjä. M. Tiuri 10.10.2009. Lähde: Energiateollisuus, IEA.

Turve on biomassaa, mutta sen uusiutumisaika on tuhannen vuoden luokkaa, aivan liian pitkä ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta. Turvevoimalan hiilidioksidipäästöt ovat viidenneksen suuremmat kuin hiilivoimalan.

Biopolttonesteet ovat uusiutuvia vain osittain. Esimerkiksi suomalaisesta vehnästä tai ohrasta tehty bioetanoli lisää VTT:n selvityksen mukaan kasvihuonekaasupäästöjä, kun koko elinkaari otetaan huomioon.

Poliitikot ja media uskovat maailman energian olevan pääosin uusiutuvaa tulevaisuudessa. Esimerkiksi Saksan ympäristöviraston mukaan kaikki Saksan energia on uusiutuvaa 2050. Se ei mitenkään ole mahdollista, koska uusiutuva ei riitä. Uusiutuvan energian ongelmia käsitellään tarkemmin seuraavilla sivuilla.

Polttamiseen perustuva energia on vaarallista pienhiukkasten vuoksi

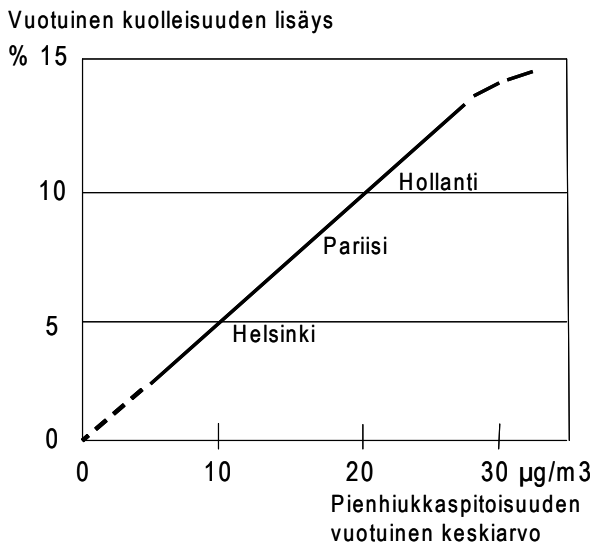
Huomattava osa uusiutuvasta energiasta perustuu polttamiseen. Kasvi-
huonekaasupäästöjen vähentämisessä ja ilmastonmuutosta hillittäessä on unohdettu polttoenergian pienhiukkaset, jotka ovat ylivoimaisesti suurin energiantuotantoon liittyvä terveyshaitta. Pienhiukkaset (PM_{2,5}-hiukkaset) ovat kooltaan alle 2,5 tuhannesosamillimetrin suuruisia noki-, sulfaatti- ja nitraattihiukkasia, jotka hengitettäessä pääsevät suoraan keuhkorakkuloihin. Pitkäaikainen altistuminen pienhiukkasille heikentää vähitellen keuhkojen toimintaa ja aiheuttaa verisuoniin ahtaumia, joista seuraa verenkierto- ja hengityselinsairauksia ja lopulta sydänhalvauksia ja keuhkosyöpäkuolemia.

Epidemiologiset tutkimukset ovat osoittaneet, että nykyisin normaalisti esiintyvät pienhiukkaspitoisuudet lyhentävät väestön elinikää useilla vuosilla ja lisäävät siten vuotuista kuolleisuutta useilla prosenteilla, kuva 12. Maailman terveysjärjestö WHO on arvioinut vuonna 2000, että pitkäaikainen altistuminen pienhiukkasille aiheuttaa EU25

maissa 350 000 kuolemaa vuosittain. Suomen osuus on 1300 kuolemaa. Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen THL:n mukaan pelkästään puun pienpoltto Suomessa aiheuttaa 250 kuolemaa vuosittain. Laitos varoittaa lisäämästä puun polttoa.

Jatkuvan altistumisen lisäksi esiintyy pienhiukkasepisodeja, jolloin pitoisuus voi olla jopa yli satakertainen tavanomaiseen verrattuna. Niitä aikaansaavat muun muassa metsäpalot. Episodit aiheuttavat tilapäisen kuolleisuuden nousun. Moskovassa lähiympäristön vuoden 2010 metsäpalojen aiheuttamat pienhiukkaset nostivat kuolleisuuden yli kaksinkertaiseksi.

Kuva 12. Arvio pienhiukkasten aiheuttamasta kuolleisuuden lisäyksestä



Yhtenäinen viiva perustuu epidemiologisiin tutkimuksiin vuotuisesta kuolleisuuden lisäyksestä. Alkuosan katkoviiva on arvioni luonnon taustasta ja loppuosan katkoviiva arvio kyllästymisestä. Helsingissä PM_{2,5} vuotuinen keskiarvo on yli 10 mikrogrammaa kuutiometrissä, josta puolet kaukokulkeutumaa. Pariisissa ja Hollannissa PM_{2,5}-pitoisuudet ovat suuremmat.

M.Tiuri 2003. Lähde: JAMA March 2002.

Osa pienhiukkasista on polttamisesta johtuvia nokihiukkasia, joita tulee turve-, hake-, hiili-, ja öljyvoimaloiden, omakotitalojen lämmityslaitteista, puun poltosta, takoista, dieselautoista ja metsäpaloista. Nokihiukkasiin on tarttunut monenlaisia palamisessa syntyneitä myrkyjä, raskasmetalleja, ja orgaanisia aineita.

Pienhiukkasia tulee myös hiili-, öljy- ja maakaasuvoimaloiden sekä dieselmoottorien typpi- ja rikkidioksidipäästöistä. Ne muuntuvat ilmakehässä nitraatti- ja sulfaattipienhiukkasiksi. Typpipäästöt johtuvat ilman tuestä, joka palaa poltossa. Nitraattihiukkasia tulee myös maataloudesta erityisesti karjanhoidosta. Aikaisemmin niitä tuli runsaasti myös bensiiniautoista, mutta nykyisin katalysaattorit poistavat typpipäästöt. Sulfaattihiukkaset ovat peräisin polttoaineen rikistä. Ne ovat vähentyneet, kun polttoaineiden rikkipitoisuutta on rajoitettu. Dieselautojen nokipäästöt ovat vähentyneet suodattimien ansiosta, mutta typpipäästöjä tulee. Ne ovat syynä siihen, etteivät dieselaudit ole käytössä USA:ssa. Euroopassa tietoisuus pienhiukkasten vaarallisuudesta on puutteellinen.

Luonto tuottaa sulfaattipienhiukkasia muun muassa tulivuorista. Nitraattipienhiukkasia aikaansaavat muun muassa salamaniskut ja nokihiukkasia metsäpalot. Luonnon tuottamasta pienhiukkastausta ei vielä ole tarkkaa tietoa. Se on kuitenkin huomattavasti ihmisen tuottamaa pitoisuutta pienempi. Suuri osa luonnon tuottamista ilmassa leijuvista hiukkasista on suurempia kuin PM-2,5 hiukkaset. Tuuli irrottaa maaperästä pölyhiukkasia. Meren aaltoilu tuottaa suola-
hiukkasia.

Pienhiukkaset pysyvät ilmassa useita vuorokausia ja leviävät ilmavirtausten mukana satojen ja tuhansien kilometrien etäisyyksille syntysijoiltaan lähes yhtenäiseksi ilmansaasteeksi. Pienuutensa vuoksi niiden pitoisuus on samaa luokkaa ulkona ja sisällä. Ne ovat lähes näkymättömiä, sillä pienhiukkaspitoisuudet ilmassa ovat yleensä pieniä 5–30 mikrogrammaa kuutiometrissä. Autoreisuus on merkki näkyvästä pienhiukkaspitoisuudesta. Erikoistilanteissa pienhiukkaspitoisuus voi kasvaa suureksi esimerkiksi kun inversiokerros lähellä maanpintaa estää ilman sekoittumisen. Kaliforniassa puun poltto on silloin kielletty.

Etelä-Suomessa kaukokulkeutuma aiheuttaa puolet pienhiukkaspitoisuudesta. Naapurimaille on ilmoitettava, jos ydinvoimalasta pääsee karkuun säteileviä aineita. Vastaavasti, jos Saksa sulkee ydinvoimalat ja lisää bioenergiaa ja muita polttovoimaloita, sen tulee varoittaa Suomea pienhiukkasten kaukokulkeutuman kasvusta ja maksaa korvauksia. Venäjän on annettava tiedot metsäpalojen päästömääristä.

EU on ollut hidas määrittelemään rajaa sallitulle keskimääräiselle pienhiukkaspitoisuudelle. USA:ssa vaaditaan selvästi alhaisempia pienhiukkaspitoisuuksia. Suomessa ympäristöministeriö ei ole saanut aikaan normeja omakotitalojen puulämmityskattiloillekaan, vaikka ne aiheuttavat taajama-alueilla savuhaittoja naapureille. Puun polttoa ilmeisesti pidetään luonnonmukaisena ikimuistoisena toimintona.

Polton tuottamat keskimääräiset pienhiukkaspitoisuudet ovat niin suuri terveyshaitta, että niiden vähentäminen on välttämätöntä. Turvallista alarajaa ei ilmeisesti ole, joten hiukkasiin tulee soveltaa säteilystä tunnettua alaraja-periaatetta (as low as reasonably achievable).

WHO on vaatinut, että kasvihuonekaasupäästöjä vähennettäessä on vähennettävä myös pienhiukkaspäästöjä. Vaatimus näyttää unoh-tuneen, sillä hiilidioksidipäästöjä pyritään vähentämään muun muassa lisäämällä puun ja muun biomassan energiakäyttöä. Pienhiukkaspäästöt kasvavat, kun hiili korvataan biomassalla. Suomessa on välttämätöntä säätää normit myös omakotitalojen pienkattiloille, jotta polton ympäristöhaittoja voitaisiin vähentää ja ilmaa puhdistaa taajamissa.

Metsäbioenergia tuottaa sekä hiilidioksidia että pienhiukkaspäästöjä

Euroopan unioni vaatii uusiutuvan energian osuuden nostamista EU-maissa keskimäärin 20 prosenttiin eli nykyisestä yli kaksinkertaiseksi vuoteen 2020 mennessä. Keski- ja Pohjois-Euroopassa suuri osa uusiutuvasta energiasta perustuisi biomassoihin ja tuulisähköön. Valtaosa

olisi bioenergiaa, pääosin puuta. Metsät eivät siihen riitä. Tuulivoimalakenttien rakentamiseen taas kuluisi suuri määrä uusiutumattomia luonnonvaroja. Ne täyttäisivät rannat ja matalat merialueet.

METLA ja Euroopan metsäinstituutti (Efi) ovat selvittäneet metsien hakkuumahdollisuuksia EU:ssa ottaen huomioon runkopuun, hakkuutähteet, nuorten metsien pienpuun ja kannot. Teoreettisesti metsien vuotuinen hakkuupotentiaali on 1,3 miljardia kuutiometriä. Hakkuita rajoittavat ekologiset, teknilliset ja sosiaaliset seikat. Reaalinen metsien käytön potentiaali on 750 miljoonaa kuutiometriä, josta teollisuuden runkopuuta on 600 miljoonaa kuutiometriä. Energiakäyttöön jäisi 150 miljoonaa kuutiometriä edellyttäen, että sen hankintaa tuetaan. Yhden prosenttiyksikön lisäys energiaan vaatisi puuta 100 miljoonaa kuutiometriä. Metsien energiapotentiaali ei pitkälle riittäisi.

Suomessa metsätähteitä eli hakkuutähteitä, rankapuuta ja nyttemmin myös kantoja on käytetty paikallisesti sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ja lämmöntuotannossa. Energiateollisuus on kehittänyt polttotekniikkaa ja laitteita, jotka ovat merkittävä vientituote. Suomessa kohtuullinen metsätähteiden käyttö on perusteltua energiaomavaraisuuden ja työllisyyden kannalta.

Suomessa bioenergian osuus energiasta on metsäteollisuuden ansiosta ollut suuri, 28 %, joten EU on asettanut Suomelle tavoitteeksi 38 %. Siihen pääseminen vaatisi metsätähteiden käytön lisäämistä kohtuuttomasti. Energiaohjelman mukaan uusiutuvan osuuden lisäys toteutettaisiin pääosin lisäämällä metsätähteiden energiakäyttöä 8,5 miljoonalla kiintokuutiometrillä 2,7-kertaiseksi nykyisestä vuoteen 2020 mennessä. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa saataisiin sähköä 6 TWh ja lämpöä 11 TWh. Sähkön lisäys vastaisi puolta ydinvoimalaa.

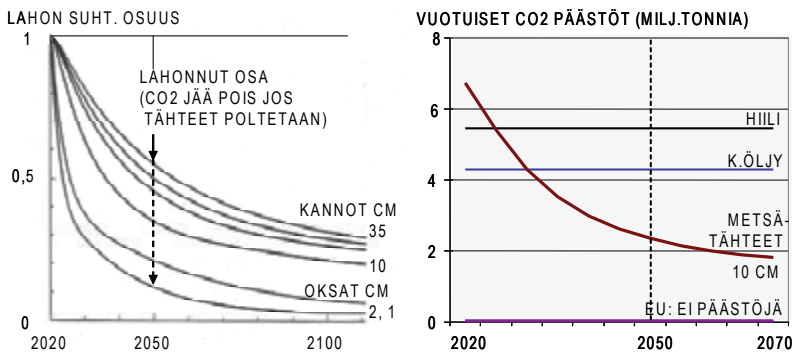
Jos metsätähteet olisivat uusiutuvaa energiaa, hiilidioksidipäästöt alenisivat noin 7,5 Mt eli lähes 10 % nykytasosta. EU:n mukaan metsäenergia on uusiutuvaa ja siis päästötöntä. Näin ei ole todellisuudessa, kun metsätähteiden käyttöä lisätään. Paksut oksat, latvat ja kannot lahoaisivat hitaasti vuosikymmenien aikana, mutta niitä poltettaessa hiilidioksidi pääsee ilmakehään heti, vasen kuva 13. Puun päästöt energiayksikköä kohti ovat 16 % suuremmat kuin kivihii-

len, ja puuvoimalan hyötysuhde on hiilivoimalaa alhaisempi, joten hiilen korvaaminen puulla aiheuttaa 2020 päästöjen kasvamisen yli viidesosalla verrattuna kivihiilen päästöihin, oikea kuva 13. Todelliset vuotuiset päästöt vähenevät hitaasti metsätähteiden lahoamisajan loppuun mennessä.

EU:n tilastoissa Suomen laskennalliset päästöt vähenisivät korvattun hiilen päästöjen verran jo 2020. Ilmakehässä vaikuttavat kuitenkin todelliset päästöt. Poliittiset päättäjät Suomessa ja EU:ssa ovat kuitenkin tyytyväisiä ”uusiutuvan” puuenergian lisäämis päätöksiin uskoessaan päästöjen pudonneen vuonna 2020.

Metsätähteiden käytön voimakas lisääminen edellyttäisi runsaasti lisää korjuukoneita ja kuljetuskalustoa sekä työvoimaa. Haketukseen ja kuljetuksiin kuluvan öljyn arvioidaan vastaavan useita prosentteja saadusta puuenergiasta. Epäedullisinta olisi suurimittainen kaukokulje-

Kuva 13. Metsätähteiden lahoaminen ja vuotuiset hiilidioksidipäästöt



Vasemmassa: Metaätähteiden lahoaminen 90 vuoden aikana. 35 cm kannoista 30 % on vielä 2100 lahoamatta. Oikealla: Metsätähteiden vuotuiset hiilidioksidipäästöt sekä korvattun hiilen (sähkön ja lämmön yhteistuotanto) ja korvattun kevytöljyn (talon lämmitys) vuotuiset päästöt. Tähteitä lisätty joka vuosi 2020 alkaen 8,5 milj. kiintokuutiometriä. Niiden oletettu lahoavan kuten 10 cm rankojen ja kantojen sekä 5 cm oksien. Tähteet lisäävät päästöjä 2020 yli 20 % hiileen verrattuna ja yli 50 % kevytöljyyn verrattuna. Kokonaispäästöt 2050 mennessä ovat lähes yhtäsuuret kuin kevytöljyn.

M.Tiuri 31.12.2010. Viite: Repo, Tuomi, Liski SYKE: GDP Bioenergy, Aug. 2010.

tus Etelä-Suomesta Helsinkiin. Rekkaralli olisi tarpeen, jos Helsingissä ryhdytään korvaamaan nykyisin käytettyä kivihiiltä puulla. Monet paikalliset lämpökeskukset jäisivät ilman.

USA:ssa, Kanadassa ja Australiassa on huomattu EU:n puuenergiainnostus. Vuosikymmenien kuluessa kerääntynyt puu paahdetaan, puristetaan mustiksi pelleteiksi ja kuljetetaan laivalla Eurooppaan. USA:ssa on jo kymmeniä pellettitehtaita. Kuljetus on edullista, koska mustat pelletit vievät tilaa vain 30 % enemmän kuin kivihiili. Paikallisen metsäteollisuuden kysynnän vähennyttyä pellettejä tehdään ainespuustakin. EU:ssa tuonnin kasvu 2008–2009 oli yli 30 % vuodessa.

Maapallon kannalta päästöt kasvavat, mutta vähemmän, koska puun uusiutumisaika lähtömaissa on lyhyempi kuin Euroopassa ja Suomessa. Helsinki välttäisi rekkarallin ja saatavuusongelmat kotimaisuuden kustannuksella tuomalla pelletit ulkomailta. Suomen syötötariffista hyötyisivät Floridan ja Kanadan metsänomistajat.

Metsätähteiden lisäämiseen liittyy vakavia ongelmia metsän kestävä käytön kannalta. Tähteiden jatkuva tarkka kerääminen heikentää metsän maaperää ja kasvua, kun ravinteita kulkeutuu pois, jos metsiä ei vastaavasti lannoiteta. Myös luonnon monimuotoisuus kärsii. Kantojen repiminen raskailla koneilla tiivistää maan ja heikentää uuden metsän kasvua. Kestävä kehitys edellyttää, että tulevat sukupolvet saisivat metsät yhtä hyvässä kunnossa kuin ne ovat nyt.

Puun polton lisääminen suurentaa pienhiukkaspäästöjä. Puun lisäkäyttö energiaksi lisää siis sekä ilmastonmuutosta kiihdyttäviä kasvihuonekaasupäästöjä että terveydelle vaarallisia pienhiukkaspäästöjä ja vaarantaa metsien kestävä käytön.

Puun avulla hillitään Suomessa ilmastonmuutosta parhaiten kasvattamalla metsien hiilidioksidinielua ensiharvennuksilla ja harvennushakkuilla sekä ylijäämäpeltojen metsityksillä. Harvennushakkuut lisäävät hiilinielua metsän kasvun kiihtyessä kymmenen vuoden jälkeen. Kaupunkilaiset metsänomistajat tekevät ympäristöteon huolehtimalla metsiensä harvennushakkuista!

Metsien hiilinielua voidaan lisätä metsäalaa laajentamalla. Ylijäämäpelloille on istutettava metsää sen sijaan, että ne tuottaisivat bioenergiaa jatkuvan tuen varassa ruokohelpeä viljelemällä.

Puun energiakäytön lisäämistä perustellaan sillä, että Suomen metsät kasvavat kestävänsä metsänhoidon ja soiden ojituksen ansiosta vuosittain yli sata miljoonaa kuutiometriä, mutta käyttö on alle 70 miljoonaa kuutiometriä. Metsän lisääntyvä kasvu nielee fossiilisen energian hiilidioksidipäästöistä vuosittain puolet. Puun polton tuottamat kasvihuonekaasupäästöt ja pienhiukkaspäästöt kiihdyttävät ilmastomuutosta kuten kivihiilenpolttokin. Ihmisen toiminnan aikaansaama metsän lisäkasvu on päästöjen vähentämistä, josta tulee saada korvaus päästökaupassa. Se toisi Suomelle vuosittain miljardiluokkaa olevat tulot riippuen päästömaksun suuruudesta.

Tuulivoima on pätöksäähköä ja tuhlaa luonnonvaroja sekä maisemia

Tuulivoimaa pidetään tärkeänä uusiutuvana energiana sähkön tuottamiseksi päästöttömästi. Tuulen energia neliometriä kohti on alhainen, joten tuulimyllyn sieppauspinnan eli roottorin halkaisijan on oltava suuri. Lähivuosina yleisimmän tuulimyllyn huipputeho on 3–5 MW. Kun huipputeho on 5 MW, tornin korkeus on 120 metriä ja siipien pituus 60 metriä. Tuulen nopeuden on oltava nelisen metriä sekunnissa ennen kuin tuulimylly alkaa pyöriä ja tuottaa sähköä. Teho kasvaa jyrkästi tuulen nopeuden kuutioon verrannollisesti. Huipputeho saavutetaan tuulen nopeudella 13 m/s. Sen jälkeen teho on vakio nopeuteen 25 m/s, jolloin tuulimylly on pysäytettävä.

Suuriin voimaloihin verrattavan keskitehon saavuttamiseksi on rakennettava satojen tuulimyllyjen tuulivoimakenttiä, joissa tornien etäisyyden on oltava kolminkertainen korkeuteen verrattuna. Tuulisähköä saadaan parhaiten merellä valtamerien rannikoilla. Siellä ne

tuottavat yli kolmasosan huipputehosta. Suomi on kaukana valtameristä, joten merituulivoimala tuottaa vähemmän, korkeintaan 30 % huipputehosta. Saksassa edullisen syöttötariffin vuoksi tuulimyllyjä on rakennettu sisämaahankin epäedullisille paikoille. Keskiteho on vain 20 % huipputehosta, joten lähes puolet kymmenien miljardien eurojen investoinneista on mennyt hukkaan.

Tuulivoimalan tehon suurten vaihteluiden kompensoimiseksi tarvitaan riittävästi nopea-säätöistä säätövoimaa. Säätövoimaksi sopii parhaiten vesivoima. Säätövoiman tarpeen vähentämiseksi kaukana toisistaan eri tuuliolosuhteissa olevia tuulivoimaloita voidaan yhdistää tehokkaalla sähkönsiirtoverkolla. Tasaisen sähkön takaamiseksi tuulisähkön osuus koko sähköstä voi olla enintään 10–20 %. Yli 33 % osuus pakottaisi tuulen kiihtyessä kytkemään verkosta pois kaikki muut voimalat.

Suomessa talviolosuhteet tuottavat lisähaittoja. Tuulimyllyjen on kestettävä ahtojäitä. Sähkönkulutus on huipussaan korkeapaineeseen liittyvinä kylminä pakkaspäivinä. Ilmatieteen laitoksen Harmajan, Tahkoluodon ja Hailuodon säämittauksista voi päätellä, että kylmistä sääjaksoista puolet on heikkotuulisia eikä sähköä saada, kuva 14. Näitä tilanteita varten on rakennettava kaasuturbiinivaravoimaloita, jotka nostavat tuulivoiman kustannuksia.

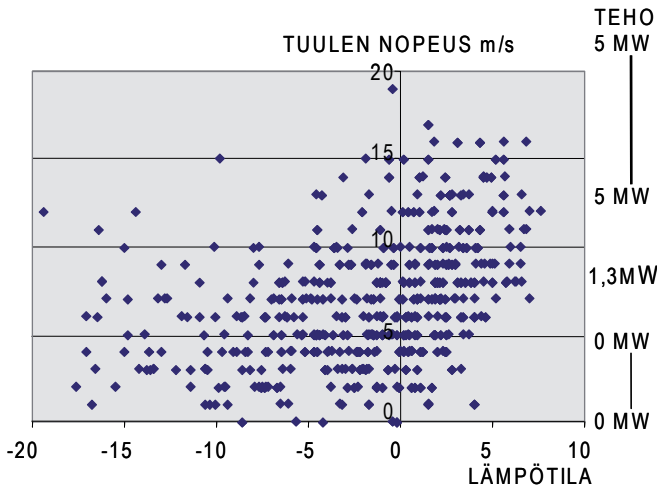
Suomessa on hyvä tilaisuus ajantasaiseen ydinsähkön ja tuulisähkön vertailuun, kun Olkiluoto 3:n materiaalitarve ja kustannukset tiedetään ja tuulimyllyjäkin on rakennettu. Merituulivoimalan hinnaksi arvioidaan 3 miljoonaa euroa megawattia kohti. Olkiluoto 3 tuottaa sähköä vuodessa 13 terawattituntia. Saman sähkömäärän tuottamiseen tuulivoimalla tarvitaan 1700 kolmen megawatin tuulimyllyä merellä, joten kokonaishinta on noin 15 miljardia euroa. Olkiluoto 3:n hinta on neljän miljardin euron suuruusluokkaa.

Olkiluoto 3:n käyttökustannukset ydinpolttoaine mukaan laskien ovat suunnilleen yhtä suuret kuin vastaavan merituulivoimalan. Tuuli on ilmaista, mutta uraaninkin osuus ydinsähkön hinnasta on vain 5 %. Hajallaan olevat 1700 tuulimyllyä, joissa koneistot ovat korkealla tornissa nostavat huoltokustannuksia. Merituulisähkön hinta on yli kolminkertainen ydinsähkön verrattuna.

Olkiluoto 3:n suurin yksikkö on 6300 tonnin turbiinigeneraattori. Reaktori ja muut tarpeelliset laitteet kuten höyrystimet, lauhdutin, pumput, ohjaus- ja valvontaelektroniikka, suojarakenteen teräsvuoraus ja nosturit nostavat voimalan koneiston kokonaispainoksi 14 500–15 000 tonnia. Pääosa materiaalista on erikoisterästä ja muita metalleja. Ydinvoimalaan tulee laskea mukaan myös polttoaineen valmistuksen vaatima koneisto. Sen materiaali jakaantuu kuitenkin monien voimaloiden kesken, joten se ei olennaisesti muuttane tilannetta.

Tuulimyllyn ylhäällä tornissa olevan koneiston paino on 180 tonnia ja terästornin paino 220 tonnia. Tuulivoimalan kokonaispaino on siis 670 000 tonnia. Tuulivoimala kuluttaa uusiutumattomia luonnonvaroja lähes 50-kertaisen määrän verrattuna ydinvoimalaan, kuva 15.

Kuva 14. Tuulen nopeuden riippuvuus lämpötilasta talvisin Harmajalla



Talvet 2005–2010. Nopeus 17 metrin korkeudella. Oikeassa reunassa 5 MW:n tuulimyllyn teho. Piste vastaa yhtä päivää. Tuulimylly seisoo puolet päivistä, jolloin on kylmempää kuin -5 C. Heikkotuulisten päivien osuus tuulimyllyn toimintakorkeudella (100 m) pysynee samana.

M. Tiuri 2010. Lähde: Ilmatieteen laitos.

Tuulivoimalalaskelmassa eivät ole mukana nosturit, eikä voimalasta lähtevä siirtoverkko, jonka on pystyttävä ydinvoimalaan verrattuna siirtämään kolminkertainen teho. Välttämätön varavoimakin lisää materiaaltarpeita. Toisaalta ydinvoimalan ydinjätteiden loppusijoitukseen suunnitellaan käytettäväksi kuparikapseleita, joihin kuluu kuparia ja terästä 35 000 tonnia.

Sekä ydinvoimala, että tuulivoimala tarvitsevat koneistojen lisäksi paljon betonia. Olkiluoto 3:n tarve on 600 000 tonnia betonia, johon tulee lisäksi lähes kymmenesosa betonirautaa. Matalaan veteen rakennetun tuulivoimalan tarve on 800 000–1 000 000 tonnia ja vastaava määrä betoniterästä. Betonin tarve kasvaa syvemmälle rakennettaessa. Norjassa 120 metrin syvyyteen ulottuvan kelluvan koevoimalan perusteella Olkiluoto 3:n korvaamiseen kelluvilla tuulimyllyillä tarvittaisiin yli 10 miljoonaa tonnia materiaalia.

**Kuva 15. Ydinvoimalan ja saman vuotuisen sähkön tuottavan merituu-
likentän vertailu**

1600 MW:n ydinvoimala

Erikoisterästä ym. metalleja	15 000 tonnia
Betonia	600 000 tonnia
Hinta (Olkiluoto 3)	4 miljardia euroa

**1700 x 3 MW merituu-
likenttä**

Erikoisterästä ym. metalleja	680 000 tonnia
Betonia (matala vesi)	850 000 tonnia
Kentän pinta-ala	100 neliökilometriä
Hinta (arvio)	15 miljardia euroa

4 milj. 2 kW:n tuulimyllyä

Erikoisterästä ym. metalleja	1 000 000 tonnia
Betonia	?
Hinta (kaupallinen)	40 miljardia euroa

Merituu-
livoimalan hinta on yli kolminkertainen ydinvoimalaan verrattuna. Merituu-
livoimala vaatii erikoisterästä ja muita metalleja 45-kertaisen määrän. Se tarvitsee
myös rakennuspinta-alaa sadan neliökilometrin verran. Pienoistuulimylly on edul-
linen vain, kun tarvitaan sähköä kaukana sähköverkosta esimerkiksi kesämökille
tai tukiasemalle.

M. Tiuri 2010. Lähde: PVO.

Tuulivoimalan luonnonvarojen kulutusta lisää lyhyt 25 vuoden käyttöikä verrattuna ydinvoimalan 60 vuoden käyttöikänsä. Tuulivoimalan materiaalitarve riippuu myös myllyn huipputehosta ja ilmeisesti kasvaa huipputehon pienentyessä. Pienitehoisia tuulimyllyjä talojen katoille ja omakotitalojen tonteille rakentavat kuluttavat metalleja miljoona tonnia tuottamaan sähköä yhteensä ydinvoimalan verran. Neljä miljoonaa kahden kilowatin tuulimyllyä ovat uusiutumattomien luonnonvarojen tuhlausta. Kestävä kehitys edellyttää, että uusiutumattomia luonnonvaroja kulutetaan mahdollisimman vähän. Tuulisähkö räyttää huonosti kestävänsä tulevaisuuden edellytykset.

Ilmastomuutos haittaa tuulienergiaa. Ilmastomallien mukaan lämpötilan nousu on suurempi pohjoisilla leveysasteilla kuin keskileveysasteilla. Tuulet perustuvat lämpötilaeroihin, joten ne keskimäärin heikkenevät, kun ilmastomuutos etenee. Ranskalaisen Ilmasto- ja ympäristötieteiden laboratorion mittauksen mukaan pohjoisen pallonpuoliskon keskileveysasteilla tuulet ovat heikentyneet 1979–2008 keskimäärin 5–15 %. Paikallisesti myrskyt voivat olla entistä voimakkaampia, koska ilmakehässä on enemmän energiaa.

Aurinkosähkö on kallista, aurinkolämpö edullista

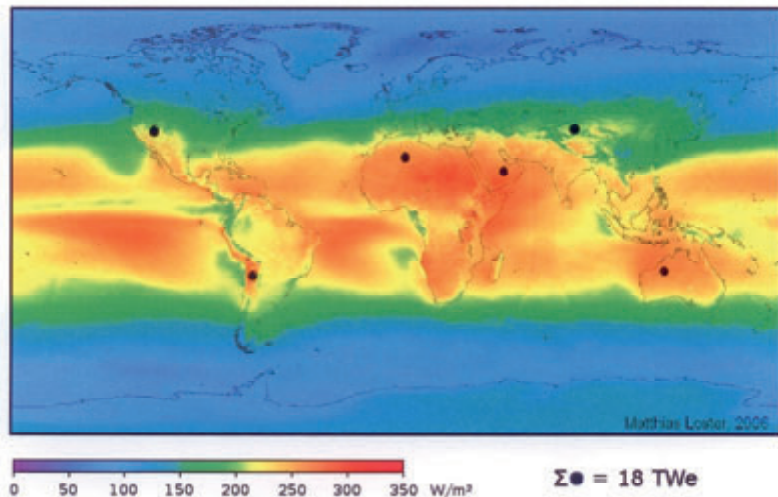
Aurinkoenergia on uusiutuvaa. Aurinkosähköä tuotetaan aurinkopaneelilla. Niiden avulla aurinkoisilla alueilla voitaisiin tuottaa kaikki maapallolla käytettävä energia, kuva 16. Kartalla pieniltä vaikuttavat alueet edustavat kuitenkin valtavia rakenteita. Pinta-ala olisi yhteensä yli kolmasosa Suomen pinta-alasta.

Aurinkopaneelien tuotanto on 2000-luvulla kasvanut 15 % vuosittain. Aurinkopaneelien sähköteho 2009 lopussa oli 21 000 MW. Aurinkosähkö on pätkäsähköä, mutta tuulisähköön verrattuna tasaisempaa varsinkin maapallon aurinkoisilla alueilla. Tuotantokapasiteetti on suuri, mutta keskiteho alhainen. Aurinkosähkön osuus 2009 oli prosentin kymmenysosia maailman sähköstä.

Auringon säteilyteho 0–30 leveysasteilla on vuodessa keskimäärin 300–350 wattia neliometriä kohti. Hinnaltaan edullisimpia tuotettua sähköä kohti ovat ohutfilmipaneelit, joiden hyötysuhde on 10 % luokkaa. Piipohjaisten paneelien hyötysuhde on yli 15 %, mutta hinta suurempi. Kiinteästi suunnattujen aurinkopaneelien vuotuinen keskiteho on noin 60 % verrattuna aurinkoa seuraavaan paneeliin. Aurinkoisilla alueilla Välimeren eteläpuolella kiinteillä ohutfilmipaneeleilla sähköä saadaan noin 200 kWh neliometriä kohti.

Pilvisyys alentaa säteilytehoa. Sääsatelliittien pilvihavaintojen perusteella Keski-Euroopassa auringon säteilyn vuotuinen keskiteho on 150 W ja Etelä-Suomessa 100 W neliometriä kohti. Suomessa vuotuinen sähköenergia on siten noin 60 kWh neliometriä kohti. Aurinkosähkö ei ole kilpailukykyistä Suomessa, mutta on käyttökelpoista

Kuva 16. Auringon keskimääräinen säteilyteho wattia/neliometri vuoden aikana



Pilvisyyden vaikutus on otettu huomioon sääsatelliittien avulla. Maapallon käyttämä koko energia saataisiin mustilta alueilta (yhteensä yli kolmasosa Suomesta). Viite: Wikipedia. Matthias Loster, 2006.

erikoistapauksissa. Omalla kesämökilläni saassa aurinkopaneelit ovat jo lähes 30 vuotta tuottaneet kesäaikana sähköä valaistukseen ja television katseluun.

Aurinkopaneelit ovat jatkuvasti halventuneet massatuotannon kehittyessä. Useita noin 50 MW:n voimaloita on jo maailmassa toiminnassa ja vielä suurempia suunnitteilla. Suurvoimaloissa paneelin hinta on pudonnut alle miljoonan euron huipputehon megawattia kohti. Vuoden 2010 Millenium-palkinto jaettiin edullisen aurinkopaneelin kehittäjälle.

Kiinteillä ohutfilmipaneeleilla on toteutettu muun muassa 2008 valmistunut Waldpolenzin voimala Saksassa. Sen huipputeho on 40 MW, vuotuinen keskiteho 4,5 MW ja vuotuinen energia 40 000 MWh. Rakentamiskustannukset ovat olleet yli kolme miljardia euroa terawattituntia kohti eli kahdeksankertaiset ydinvoimaan verrattuna. Aurinkopaneelien tuotanto alenee vähitellen, joten käyttöäksi arvioidaan 30 vuotta.

Saksa ei ole edullinen aurinkosähkön tuotantoon. Saharassa saman voimalan tuotanto olisi lähes kolminkertainen. Saharassa voitaisiin periaatteessa tuottaa kaikki Euroopan tarvitsema sähkö ja siirtää Eurooppaan. Siirtohäviöt tulevat suuriksi, mutta niitä voidaan pienentää muutamana prosenttiin tasavirtasiirrolla. Eurooppa olisi entistäkin enemmän muualta tuodun energian varassa.

Realisempi aurinkosähkövisio ehkä on satelliittivoimala 36 000 km korkeudessa avaruudessa. Sähkösatelliittien mahdollisuuksia on tutkittu USA:ssa. 36 000 kilometrin korkeudessa oleva sähkösatelliitti pysyy maapallon pinnan suhteen paikoillaan kuten vastaavat tietoliikennesatelliitit. Etuna on, että satelliitti on valtaosan ajasta täydessä auringonpaisteessa. On kaavailtu, että 5 x 10 kilometrin suuruisella aurinkopaneelilla voidaan tuottaa sähköä satelliitissa ja muuttaa se radiotehoksi samalle taajuudelle, jota käytetään mikroaaltouuneissa. Mikroaaltoteho suunnataan haluttuun kohtaan maapallon pinnalle peiliantennilla, jonka halkaisija on yksi kilometri.

Maanpinnalla sähkösatelliitin tehotaso on niin alhainen, ettei siitä ole haittaa. Teho otetaan vastaan pienillä antennilla, jotka peittävät

10 kertaa 10 neliökilometrin alueen, muutetaan tavalliseksi sähköksi ja syötetään sähköverkkoon. Tehonsiirtoon suunnitellun radioyhteyden hyötysuhde on hyvä. Yli 98 prosenttia satelliitista lähetetystä tehosta saadaan otetuksi vastaan maan pinnalla. Sähköverkkoon saadaan 5000 megawattia eli sähköä kolmen Olkiluoto 3:n ydinvoimalan verran. Sähkösatelliitit ilmeisesti edellyttäisivät tukiasemaa kuussa, josta saatisiin raaka-aineet rakentamiseen.

Aurinkosähköä voidaan tuottaa myös aurinkolämpövoimalan avulla. Peilien avulla auringon säteily keskitetään höyrytimeen, ja loppuosa voimalasta on normaali lämpövoimala. Voimalaan on mahdollista yhdistää sähkönvarastointi esimerkiksi suolaliuokseen, jolloin voimalasta saadaan yöaikaan sähköä lämpöenergian avulla. Koevoimaloita on jo rakennettu.

Edullinen aurinkoenergian sovellutus on suora käyttö veden lämmitykseen. Lämpöpaneelit ovat yleisiä Välimeren maissa. Israelissa niitä on 0,6 neliometriä asukasta kohti.

Biopolttonesteiden harhat

Liikenne on lähes kokonaan riippuvainen öljystä ja tuottaa viidesosan maailman hiilidioksidipäästöistä. Päästöt kasvavat jatkuvasti. Kiinassa autojen myynti ohittaa myynnin USA:ssa 2015. Euroopan unionissa (EU) tieliikenteen hiilidioksidipäästöt uhkaavat nousta 2010 yli 1100 miljoonaan tonniin eli 50 % vuodesta 1990. Suomen tieliikenteen hiilidioksidipäästöt ovat 13 Mt.

Päästöjen vähentämiseksi polttomoottoreita on kehitetty yhä tehokkaammiksi. Päästöjä pyritään vähentämään myös korvaamalla bensiiniä ja dieselöljyä biopolttonesteillä. Hiilidioksidipäästöjen lisäksi on kuitenkin tärkeätä ottaa huomioon myös pienhiukkaspäästöt. Bensiiniauto ei katalysaattorin ansiosta tuota pienhiukkaspäästöjä. Dieselauton kasvihuonekaasupäästöt ovat bensiiniauton päästöjä pie-

nemmät. Suodattimilla on pystytty vähentämään myös nokipäästöjä. Typpipäästöistä muuntuvia pienhiukkasia kuitenkin syntyy. Dieselaution suosiminen verotuksessa pelkäästi hiilidioksidipäästöjen nojalla ei ota huomioon ihmisten terveyttä.

USA:ssa ryhdyttiin vuonna 2007 öljyriippuvuuden vähentämiseksi edistämään bensiinin korvaamista maissietanolilla verotuen avulla. Seurauksena oli maissin hinnan kaksinkertaistuminen ja ruuan hinnan nousu. Sittemmin USA:ssa tehty elinkaarianalyysi osoitti, että maissietanoli vähentää päästöjä vain 12 % bensiiniin verrattuna. Koko maissisato bioetanolina korvaisi hieman yli kymmenesosan USA:n bensiinin tarpeesta. USA:n dieselöljyn tarpeesta koko soijaso biodieselinä korvaisi 6 %. Ihmisten ravinnoksi ei viljaa ja ruokaöljyä riittäisi. Peltoperäiset bioetanoli ja biodiesel eivät ole kestävää kehitystä.

VTT:llä tehty elinkaarianalyysi osoitti, että Suomen ohraan ja vehnään perustuvat bioetanoli ja rypsi-biodiesel lisäävät päästöjä, vaikka sivutuoterehun energia otetaan huomioon.

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi EU on määrännyt, että 5,75 % liikennepolttoaineiden tilavuudesta olisi biopohjaista vuonna 2010 ja 10 % vuonna 2020. EU:n mukaan seossuhde voidaan laskea kaksinkertaisena, jos bionesteet on tehty biojätteistä.

EU vaati bioetanolin ja biodieselin lisäämisestä bensiiniin ja dieselöljyyn ennen kuin elinkaarianalyysit osoittivat niiden tehottomuuden päästöjen vähentämisessä. EU on nyt joutunut tarkistamaan vaatimuksia. Kestävyyssuhteiden mukaan vuodesta 2017 alkaen biopolttonesteiden tulee vähentää koko elinkaari huomioonottaen päästöjä vähintään 50 % ja vuodesta 2018 alkaen uudessa tuotannossa 60 % fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Kestävyyssuhteiden valvominen on hankalaa. Bioetanolia valmistavien yritysten liikesalaisuudetkin estävät sen käytännössä. Ilmeisesti vain Brasilian sokeriruokoetanoli täyttää uudet vaatimukset, mutta laajamittainen tuotanto johtaa päästöjen kasvamiseen viljelypinta-alaa lisättäessä.

EU:n komission tilaaman maaliskuussa 2010 julkaistun raportin mukaan 10 % osuus uusiutuvia liikennepolttoaineita vuonna 2020 on kestävää vain, jos nykyisten biopolttonesteiden osuus on noin

puolet ja sähkön osuus toinen puoli. Suurempi biopolttonesteiden osuus johtaa päästöjen nousuun muun muassa maankäytön kasvun lisäpäästöjen vuoksi. Vaatimus 20 % sekoitussuhteesta on selvityksen mukaan kestävä. EU:lle on ominaista, että energiapäätösten seurauksia ruvetaan selvittämään vasta kun päätökset on tehty. Huonojen päätösten korjaaminen on vaikeata.

Suomessa eduskunta on asettanut sekoitussuhdetavoitteeksi 20 % vuonna 2020. Polttoaineiden jakelijoiden on vähitellen lisättävä biopolttonesteiden osuutta niin, että 20 % tavoite saavutetaan. Todellisuudessa seossuhde olisi 10 %, kun bioetanoli oletetaan tehdyksi biojätteistä kuten ruuantähteistä ja leipomoiden taikinajätteistä. Tuotantomahdollisuudet ovat kuitenkin aivan liian vähäiset tarpeeseen verrattuna. Yhtenä keinona on esitetty bioetanolin valmistamista ylijäämäviljasta. Ylijäämävilja ei kuitenkaan ole jätettä, jos sitä tuotetaan jatkuvasti.

EU:n biopolttonestedirektiivi voidaan toteuttaa Suomessa sekoittamalla bensiiniin tuontietanolia Brasiliasta. Sokeriruokobioetanolin päästöt ovat alle puolet bensiinin päästöistä. Bioetanolin energiasäilytys on alempi kuin moottoribensiinin, joten etanolia kuluu 52 % enemmän. Jos etanolia on bensiinissä 10 % ja bensiinin hinta on 1,5 euroa etanolibensiinin hinnan tulisi olla 1,45 euroa, jotta autoilun kustannukset eivät nousisi. Etanolin mahdollinen verovapaus vähentää autoilijan kustannuksia ja valtion verotuloja. Haittana on, että vanhemmat automallit eivät kestä polttoainetta, jossa on 10 % etanolia. Kaksitahtimoottoreihin se ei sovi lainkaan, koska etanoli pilaa moottorin voitelun.

Peltoperäisten biopolttonesteiden lisääminen on epäeettistä, koska se uhkaa lisätä maailmassa nälkää näkeviä. Ihminen tarvitsee elääkseen puoli hehtaaria peltoa, mutta auto useita hehtaareita.

Toisen sukupolven biopolttonesteiden raaka-aineina ovat jätteen-, olki- tai vastaava kuituperäinen biomassa, joten ne eivät kilpaile ravinnon tuotannon kanssa. Biomassasta saadaan ensin kuumentamalla synteesikaasua ja siitä Fischer-Tropsch-prosessia soveltaen korkealaatuisia biodieseliä. Toisen sukupolven bioetanolia voidaan valmistaa entsyymien avulla.

VTT:n selvityksen mukaan FT-biodieselin valmistus on edullista sellutehtaan yhteydessä. Tuotetun FT-biodieselin energiasisältö on noin puolet raaka-aineen, puujätteen, energiasisällöstä, joten miljoonasta kuutiometristä puuta saadaan yli 100 miljoonaa litraa biodieseliä. Toinen puoli energiasta käytetään hyväksi sellutehtaan prosesseissa. Päästöt alenisivat 60–80 % verrattuna dieselöljyn päästöihin. Metsäteollisuus tutkii ja kehittää FT-biodieselin tuotantoa. Maailman mitakaavassa on kysymys puun riittävydestä ja puun käytön lisäämisen aiheuttamista päästöistä.

Tutkimuksen kohteena Aalto-TKK:ssa on biodiesel-kaasun (DME dimetyylieetteri) valmistus sellunkeiton jäteliemestä (musta lipeä). Nykyisin musta lipeä poltetaan energiaksi ja se edustaa valtaosaa Suomen uusiutuvasta energiasta. Jäteliemessä on monenlaisia puun kemiallisia aineita, joita voitaisiin myös käyttää hyväksi.

Neste Oil on kehittänyt uudentyyppisen biodieselin, NExbtl:n. Valmistusprosessissa tarvitaan maakaasua vedyn tuottamiseksi, ja raaka-aineiksi sopivat kasviöljyt ja eläinrasvat, joten NExbtl ei varsinaisesti ole toisen sukupolven biodiesel. Se on pakkaskestoista ja sopii käytettäväksi ilman rajoituksia nykyisissä dieselmoottoreissa. Päästöjen arvioidaan vähenevän 40–60 % dieselöljyyn verrattuna, kun raaka-aineena ovat palmuöljy ja eläinrasvat. Jos raaka-aineena on suomalainen rypsi, päästöt kasvavat. Palmuöljyn tuotannon lisääminen Malesiassa ja Indonesiassa kestävästi edellyttää, ettei sitä varten oteta käyttöön lisää sademetsiä.

Maailman tieliikenteessä käytetään bensiiniä runsaat 900 miljoonaa tonnia (Mt) ja dieselöljyä 700 Mt. Bensiinin korvaaminen kokonaan bioetanolilla vaatisi sokeriruokoviljelmiä yli 300 miljoonaa hehtaaria. Brasiliassa sokeriruokopeltoa bioetanolin tuottamiseen on 4 miljoonaa hehtaaria ja peltoa kaikkiaan 66 miljoonaa hehtaaria. Valtaosa bioetanolin raaka-aineesta olisi tuotettava epäedullisemmin. Maailman koko peltopinta-alasta (1500 miljoonaa hehtaaria) valtaosa olisi käytettävä etanolin tuotantoon. Se on eettisesti ja ympäristön kannalta kestävämpi.

Maailman dieselöljyn tuottaminen puuraaka-aineista vaatisi 6500 miljoonaa kuutiometriä puuta. Maailman koko nykyinen teollinen puunkäyttö on 1500 miljoonaa kuutiometriä. FT-biodieselillä ei päästä kestäväan kehitykseen. Neste Oilin biodieselin tuotantoa auttaisivat öljypitoinen rikkakasvi jathropa ja jätebiomassat, mutta nekaan eivät riitä kestäväan kehitykseen.

Liikenteen polttoaineeksi sopii myös biokaasu. Sitä saadaan mädättämällä orgaanisia materiaaleja. Kaatopaikat tuottavat kaatopaikkakaasua, joka on metaania (60 %) ja hiilidioksidia (40 %). Sikaloiden lanta on hyvä lähtömateriaali samoin kasvillisuus. Biokaasu on puhdistettava ennen käyttöä poistamalla hiilidioksidi ja hiukkaset. Biokaasun käyttö vaatii erikoisrakenteisen polttomoottorin. Haittana on myös jakeluverkon puute. Biokaasun hiilidioksidipäästöt riippuvat lähtömateriaalista. Päästöt ovat verrattavissa maakaasuun, joka ajoneuvokäytössä tuottaa hiilidioksidipäästöjä sekä ilmassa pienhiukkasiksi muuntuvia typpipäästöjä.

Biopolttonesteet eivät ole kestävä ratkaisu. Autoliikenteessä kestäväan tulevaisuuteen päästään kun sähköauto korvaa polttomoottoriauton. Sähkömoottorin hyvän hyötysuhteen ansiosta sähköauto kuluttaa energiaa vain kolmasosan polttomoottoriautoon verrattuna. Kasvihuonekaasu- ja pienhiukkaspäästöjä tulee vain auton tarvitseman sähkön tuotannosta. Suomen autojen sähkö saadaan 8 MW:n ydinvoimalasta. Raskas liikenne vaatii dieselöljyä ainakin lähivuosikymmeninä.

Ympäristöjärjestöjen arvioinnit vääristyneitä

Ympäristöjärjestöt ovat arvioineet eri maiden ilmastopolitiikkaa painostaakseen niitä parantamaan toimintaansa. Järjestöjen arviointikriteerit ovat kuitenkin huonosti valittuja ja harhaan johtavia, jolloin viimeiset tulevat ensimmäisiksi ja päinvastoin.

Maailman luonnonsäätiön (WWF) ja uusiutuvan energian konsulttiyrityksen Ecofysin marraskuussa 2010 julkaistussa Climate Policy Tracker (CPT) EU-maiden ilmastopolitiikan arvioinnissa parhaat ovat Tanska, Ruotsi, Saksa ja Irlanti.

Saksalaisen German Watch:n ja Brysselissä toimivan CAN Europe:n (Climate Action Network Europe) Cancunin ilmastokokouksessa joulukuussa 2010 esittämän CCPI (Climate Change Performance) indeksin mukaan parhaat Euroopan maat ovat Ruotsi ja Saksa. Tanska on sijalla 33, kaksi sijaa Suomen jäljessä, kuva 17.

WWF:n arvioinnissa Suomi, Puola, Romania ja Bulgaria ovat huonoimmat maat. Arvioinnissa on pisteitä annettu uusiutuvan energian osuuden kasvusta ja syöttötariffien käytöstä. Arvioimatta on jäänyt johtaako maan ilmastopolitiikka vuoden 2050 tavoitteen saavuttamiseen. WWF:n mukaan kehittyneiden maiden päästöjen on silloin oltava 80 % pienemmät kuin 1990.

WWF arvostaa Tanskan ilmastopolitiikkaa, koska siellä syöttötariffien avulla tuotetaan tuulisähköä 20 % sähköstä. WWF ei ota huomioon, että tuulivoimala kuluttaa runsaasti luonnonvaroja eikä sitä, että tuulisähkön vaihteluiden vuoksi vain puolet tuulisähköstä voidaan käyttää Tanskassa. Toinen puoli joudutaan voimakkaan tuulen aikana myymään halvalla Ruotsiin ja Norjaan, jotka vähentävät vastaavasti vesisähkön tuotantoa. Tanskalaisten veronmaksajien ansiosta sähkö muissa Pohjoismaissa on halvempaa. Tyynellä säällä Tanska tarvitsee vesisähköä Norjasta. Pohjoismaiden päästöt vähenisivät parhaiten, jos Norjan vesisähköllä ei korvattaisi Tanskan puuttuvaa tuulisähköä vaan hiilisähköä silloin, kun hiilisähkön tuotanto on talvella huipussaan. Tanskan energiasta 80 % on fossiilista, joten päästöt asukasta kohti ovat suuret, vaikka energiaintensiivistä teollisuutta ei ole. Tanska kuuluu häntäpäähän ilmastopolitiikassa.

Saksassa uusiutuvaa tuetaan syöttötariffeilla 13 miljardilla eurolla. Syöttötariffien vuoksi tuulisähkön huipputeho on kasvanut reippaasti vuosittain, mutta tuulimyllyjä on rakennettu huonoille paikoille kuten pelloille. Sähköä saadaan vain 55 % odotetusta. Miljardit eurot vähentäisivät päästöjä enemmän, jos ne sijoitettaisiin talojen lämpö-

eristykseen. Yli puolet 13 miljardin euron vuotuisesta tuesta käytetään aurinkosähköön, jonka osuus sähköstä nousee kahteen prosenttiin. Aurinkosähkö on kallista ja tuottaisi parhaiten Välimeren maissa.

Saksassa ydinvoimalat tuottavat päästöttömästi 32 % sähköstä, mutta ne on päätetty purkaa, mistä WWF antaa lisäpisteitä. Vastaavaa sähköä ei pystytä tuottamaan uusiutuvilla edes tukien avulla. Ruskohiilen käyttöä tuetaan. Saksa on varottava esimerkki huonosta ilmastopolitiikasta.

WWF on luonnon suojelun kannalta vaarallisella tiellä vaatiessaan syöttötariffia puun energiakäytön lisäämiseen. Se johtaa päästöjen kasvuun kuten edellä on osoitettu ja on vaaraksi metsien säilymiselle. Päästöt kasvavat 2020 eivätkä juurikaan vähene 2050 mennessä. Laskennallisesti ne vähenevät, koska EU:n mukaan puunpolto on päästötöntä.

Englantiin ja muihin EU-maihin tuodaan jo muun muassa Amerikasta puuta paahdettuna ja mustiksi pelleteiksi puristettuna. Vuo-

Kuva 17. Ympäristöjärjestöjen arvioita eri maiden ilmastopolitiikasta

	CCPI	CPT
BRASILIA	4	
RUOTSI	5	4
NORJA	6	
SAKSA	7	4
UK	8	8
RANSKA	9	8
INTIA	10	
SUOMI	31	23
TANSKA	33	4
JAPANI	39	
ITALIA	41	8
VENÄJÄ	48	
USA	54	
KIINA	56	

CCPI 2011, (Climate Change Performance Index: 57 maata, parhaan maan indeksi 4). CPT 2010: Climate Policy Tracker: 27 EU-maata, kuutena ryhmänä: A–C ei yhtään maata, D neljä maata 4–7, E 15 maata 8–22, F 8 maata 23–30.

M.Tiuri 31.12.2010. Ref.: CAN, German Watch CCPI 2010. WWF, Ecofys: CPT 2010.

sikymmenien kuluessa metsiin kerääntynyt puu poltetaan, mutta Englanti voi mainostaa ”uusiutuvan” osuuden kasvavan!

WWF:n mukaan Englanti on mallimaa, koska siellä on lailla säädetty, että päästöt 2050 ovat 80 % alemmat. Suomeltakin vaaditaan vastaavaa lakia. Laki ei päästöjä vähennä, jos edellytetyjä vähennyskeinoja ei ole tai ne ovat väärä ja kalliita. Englannin ilmastopolitiikka ei ansaitse kiitosta.

Suomessa on päätetty rakentaa kaksi ydinvoimalaa lisää. Se katsotaan negatiiviseksi, koska se WWF:n mukaan jarruttaa uusiutuvan lisäämistä. Uusiutuvat eivät kuitenkaan riitä päästötavoitteen saavuttamiseen. Suomessa yli puolet sähköstä on tulevaisuudessa ydinvoimaa. Jos uusiutuvaa energiaa on saman verran kuin nykyisin ja henkilöautot ovat päästöttömiä sähköautoja, Suomen päästöt 2050 ovat WWF:n tavoitteen mukaiset. Suomi kuuluu ilmastopolitiikan kärkimaihin.

Harha-arviointi on osin myös CCPI:ssä. Indeksipisteistä puolet riippuu päästöjen muutostrendistä ja 30 % päästöjen tasosta. Muutostrendipisteet määräytyvät 2005 päästöistä verrattuna päästöihin 2006–2008. Päästöjen tason arvioinnissa kriteerinä ovat päästöt asukasta kohti, kansantuloa kohti ja päästöt energiayksikköä kohti. Pohjana ovat IEA:n luvut.

Indeksin virhe on, että muutostrendin lähtökohtana on vain yksi vuosi 2005. Sinä vuonna Suomessa metsäteollisuus oli pitkään lakossa ja kasvihuonekaasupäästöt olivat tilapäisesti 15 % normaalia alhaisemmat. CCPI:ssä trendiksi tuli päästöjen kasvu +10 %, kun oikea olisi -7 %. Näin Suomi on pudonnut sijalle 31 kauas oikealta paikaltaan.

Viidesosa CCPI indeksistä nojautuu kunkin maan ympäristöjärjestöjen ilmastoasiantuntijoiden antamaan ilmastopolitiikan arvosanaan. Ydinvoimaan ympäristöjärjestöt suhtautuvat negatiivisesti. Suurista riskeistä johtuen sitä verrataan hiilivoimaloihin, ja ydinvoiman väitetään jarruttavan uusiutuvien kasvua. Ydinvoiman lisärakentaminen antaa alhaiset pisteet.

CCPI ei ota lainkaan huomioon vaarallisia pienhiukkasia, jotka ovat energiantuotannon suurin riski (WHO:n mukaan EU-maissa 350 000 kuolemaa vuosittain). Bioenergia lisää niitä.

CCPI:ssä mikään maa ei ansaitse täysiä pisteitä. Neljänneksi paras maa on Brasilia, joka saa pisteitä sademetsien hävittämisen hidastumisesta ja aktiivisesta toiminnasta Rio Summit 2012 ilmastokonferenssin valmistelussa. Ruotsi on viides. Päätös luopua ydinvoimasta on auttanut. Norja on kuudes. Sen ympäristöjärjestöt ovat antaneet maan ilmastopolitiikasta erittäin hyvän arvosanan.

Tanska on pudonnut sijalle 33. Se vastaa tosiasioita paremmin kuin WWF:n arvio, jossa Tanska on ykkösenä. Aasian ympäristöjärjestöt suhtautuvat ydinvoimaan positiivisemmin, sillä ydinvoimaa rakentavat Etelä-Korea ja Kiina ovat saaneet niiltä hyvän arvosanan.

Ympäristöjärjestöt laskevat myös eri maiden hiilijalanjälkeä ja ekologista jalanjälkeä. Hiilijalanjäljessä pyritään selvittämään kuinka paljon asukasta kohti syntyy hiilidioksidia suoraan (energian käyttö) ja välillisesti.

Ekologinen jalanjälki pyrkii selvittämään paljonko pinta-alaa tarvittaisiin eri maissa kulutuksen ylläpitoon. Mukaan lasketaan muun muassa rakennettu maa-ala, metsien käyttö, puun ja paperin kulutus, lihan ja kasviproteiinin kulutus hehtaareiksi muunnettuna. Hiilidioksidipäästöjen pinta-alaksi otetaan 0,27 ha tonnia kohti, olettaen, että meret imevät 40 % päästöistä. Puun polton oletetaan olevan päästötöntä. Ydinvoimalan on viime vuosiin asti oletettu tuottavan päästöjä kuten vastaavan hiilivoimalan. Kun uusissa laskelmissa ydinvoimalasta tuli päästötön, Suomen ekologinen jalanjälki putosi kolmasosalla.

Ekologisen jalanjäljen laskeminen on hankalaa. Suomessa puun käyttö ja paperin tuotanto kasvattavat jalanjälkeä. Paperi viedään ulkomaille, jossa paperinkulutus taas lisää jälkeä, joten se ilmeisesti maapallon kannalta tulee mukaan kaksinkertaisena. Metallien kulutus näkyy vain tuotannon hiilidioksidipäästöjen kautta. Suomessa ruostumaton teräs on pääosin vientitavaraa, mutta jalanjälki jää Suomen rasiukseksi.

Ympäristöjärjestöjen tulisi asettaa asiat oikeaan järjestykseen. Ne vaativat uusiutuvaa energiaa maksoi mitä maksoi. Mutta uusiutuva ei riitä ilmastomuutoksen hillitsemiseen ja bioenergia lisää kasvi-huonekaasupäästöjä ja vaarallisia pienhiukkaspäästöjä. Järjestöjen on

valittava haluavatko ne hidastaa ilmastonmuutosta vai onko tärkeintä päästöttömän ydinvoiman vastustaminen?

Avulias Aatu

Euroopan unionin ilmastopolitiikka ei ole mukana arvioinneissa, mutta monet ympäristöjärjestöt pitävät EU:ta edelläkävijänä. Se johtuu siitä, että EU:n ilmastopolitiikka nojautuu ympäristöjärjestöjen ”vihreisiin” ajatuksiin. EU on kuitenkin jäänyt syrjästä katsojaksi kansainvälisissä ilmastokonferensseissa, joissa on pyritty realistisempiin tuloksiin. EU:n ilmastopolitiikan voi arvioida sarjaksi jatkuvia virheitä.

EU on hyväksynyt 20-20-20-ohjelman. Iskulauseen mukaan energiasta on vuonna 2020 oltava uusiutuvaa 20 % ja päästöjen on oltava 20 % alhaisemmat kuin 1990. Uusiutuvan energian lisäämisessä tärkeä osa on biomassan polttamisella voimaloissa ja omakotitalojen lämmityksessä. Puunpolton lisääminen fossiilisen energian korvaajana lisää kasvihuonekaasupäästöjä kuten aikaisemmin on osoitettu. Päästöt kasvavat 2020, mutta EU on päättänyt, että puunpolto on päästötöntä! Pienhiukkasten lisääntymisestä ei piitata.

EU:n syöttötariffeilla tukeman tuulisähkön haittana on monikymmenkertainen uusiutumattomien luonnonvarojen tarve ja maankäyttö verrattuna ydinvoimaan, vaikka ”vihreä” politiikkaa vaatii luonnonvaroja säästettäväksi.

EU:n direktiivi pakottaa lisäämään biopoltonesteitä bensiiniin ja dieselöljyyn. Vasta päätöksen jälkeen tehdyissä elinkaarianalyysissä ilmeni, että peltoperäiset bioetanoli ja biodiesel vähentävät päästöjä tehottomasti tai jopa lisäävät niitä kuten Suomessa. Nyt direktiivin vaatima bioetanoli tuodaan Eurooppaan Brasiliasta, mutta se ei pitkälle riitä. Bioetanolin sijasta olisi pitänyt keskittyä sähköautojen edistämiseen.

Valaistusenergian säästämiseksi EU vaatii elohopeakatulamppujen vaihtamista puolta tehokkaampiin natrium-valaisimiin vuoteen 2015 mennessä. Suomessa vaihtokustannukset ovat satoja miljoonia euroja. EU on myös kieltänyt hehkulamppujen valmistuksen ja haluaa korvata ne pitkäikäisillä pienloistelampuilla. Sekä natrium-lamput että pienloistelamput jäävät lyhytikäisiksi, sillä led-lamput kehittyvät hyvää vauhtia korvaamaan nykyiset valaisimet (luku 4).

EU otti aikoinaan ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi käyttöön päästökaupan fossiilisen energian hinnan nostamiseksi. EU:n komission hämmästykseksi ydin- ja erityisesti vesivoiman tuottajat saivat suuria (windfall) voittoja. Nyt monissa EU-maissa mietitään päästöttömän sähkön verottamista!

EU ei hyväksy ydinvoimaa päästöjen alentamiskeinoksi. Päinvastoin päästöjen kasvu sallitaan, jos luopuu ydinvoimasta. Ydinvoima on kuitenkin tehokkain ja turvallisin keino ilmastonmuutoksen hillitsemisessä, koska se ei aiheuta kasvihuonekaasupäästöjä eikä pienhiukkaspäästöjä.

EU ilmastopolitiikka muistuttaa 1930-luvun sarjakuvan Avuliasta Aatua. Aatu halusi auttaa vaikeuksissa olevia, mutta hänen apunsa vei autettavan entistä vaikeampaan tilanteeseen. EU haluaa hillitä ilmastonmuutosta nopeasti, mutta EU:n esittämät toimet kiihdyttävät sitä.

Maapallo on pelastettava avulialta Aatuilta. Ilmastonmuutoksen hillitsemisessä on otettava avuksi energia-alan asiantuntijat. Eri maiden asiantuntijoiden on laadittava maakohtaiset suunnitelmat ja toteuttamiskeinot päästöjen alentamiseksi. Uusiutuvan energiantuotannon tukemisen sijasta on investoitava tutkimukseen ja tuotekehitykseen sekä koelaitosten rakentamiseen.

Kullakin teollisuuden alalla on otettava ohjeeksi paras käytäntö. Tehottomasti toimiviin yrityksiin kohdistettaisiin päästövero. Teknologian siirtoa kehitysmailhin on kannustettava. Asioita pohtimaan tarvitaan hallitusten välinen energiapaneeli IPE.

4.

Tie kestävään energiaan

Ilmastomuutos karkaa?

Ilmastopaneelin IPCC:n mukaan maailman kasvihuonekaasupäästöjen tulisi kääntyä laskuun 2020 ja pudota 50 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä, jotta ilmastomuutos ei ylittäisi kahta astetta. Sitä pidetään siedettävänä lämpenemisenä.

Pääkeinot päästöjen vähentämiseen ovat toisaalta energian tuotannon ja käytön päästöjen vähentäminen siirtymällä päästöttömiin tai vähäpäästöisiin energialähteisiin ja toisaalta energian tarpeen vähentäminen tekniikkaa kehittämällä. Ydinvoiman osuuden lisääminen on vaikuttavin keino energian päästöjen vähentämiseen. Energiantarve puolestaan vähenee lähitulevaisuudessa kymmeniä prosentteja ledvalaistuksen ja sähköautojen kehittyessä.

Useissa kehittyneissä maissa kuten Euroopan unionissa pääkeinona energiantuotannon päästöjen vähentämiseksi pidetään uusiutuvan energian osuuden kasvattamista. Luvussa 3 on jo todettu, ettei uusiutuvan energian lisääminen pysty lähivuosisikymmeninä olennaisesti vähentämään päästöjä koska uusiutuva ei todellisuudessa ole uusiutuva

tai uusiutuu liian hitaasti ja on kallista. Useissa tapauksissa uusiutuvan lisääminen jopa kasvattaa kasvihuonekaasupäästöjä ja myös vaaralliset pienhiukkaspäästöt kasvavat.

Vesivoima uusiutuvana energiana on poikkeus. Kehityksessa on vielä runsaasti vesivoimapotentiaalia, mutta sen rakentaminen edellyttää suuria pääomia. Vesivoima uusiutuu vuosittain, mutta voi sateista riippuen vaihdella huomattavasti vuodesta toiseen. Se on käytön aikana päästötöntä, mutta voi aluksi tuottaa suuria päästöjä maarakennustöistä ja veden alle jäävästä kasvillisuudesta. Kehittyneissä maissa pääosa vesivoimasta on jo rakennettu.

Ilmastonmuutoksen hillitsemisessä on menetetty kallista etsikkoaikaa. EU on esittänyt kehittyneille maille sitovaa päätöstä päästöjen vähentämisestä 20 % (EU:lle 30 %) vuoteen 2020 mennessä ja 80 % vuoteen 2050 mennessä. Cancunin ilmastokokouksessa 2010 ympäristöjärjestöt vaativat teollisuusmailta sitovaa päätöstä alentaa päästöjä 40 % jo 2020 mennessä. Esitykset eivät perustuneet energia-alan asiantuntemukseen. Loppulausumassa sovittiin vain pyrkimyksestä rajoittaa lämpötilan nousu kahteen asteeseen. Päästötavoitteista ei sovittu.

Kansainvälinen energiajärjestö IEA, joka edustaa eri maiden energia-asiantuntijoita, toteaa uusimmassa arviossaan WEO 2010, että vuoteen 2020 on aivan liian lyhyt aika olennaisiin muutoksiin energia-asioissa. IEA tähtää vuoteen 2035 ja esittää kaksi eri skenaariota Uuden energiapolitiikan skenaarion (New Policies Scenario, NPS) ja 450-skenaarion (450 Scenario).

NPS perustuu nykyisen energiapolitiikan jatkumiseen, mutta ottaa huomioon eri maiden hallitusten pyrkimykset ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Toimet eivät kuitenkaan ole kovin tehokkaita. Kokonaisenergiankulutuksen arvioidaan kasvan edelleen 1,2 % vuodessa 2035 mennessä. Aikaisemmin kasvu oli 2 %. Valtaosa kasvusta tapahtuu OECD-maiden ulkopuolella. Kiinan osuus kasvusta on 36 %, Intian 18 %.

Sähkön käytön tehokkuus on jo pitkään parantunut prosentin verran vuodessa. Joustavana energiana se on syrjäyttänyt muuta energiaa ja sähkölaiteita on tullut lisää. Sähkö nostaa edelleen osuuttaan.

Sähkön kulutus kasvaa WEO 2010 mukaan vuoteen 2035 mennessä keskimäärin 2,2 % vuodessa eli lähes kaksinkertaiseksi.

Energian lisäyksen seurauksena energiantuotannon ja -käytön päästöt kasvavat keskimäärin 0,7 % vuodessa hidastuen vähitellen. Referenssivuoteen 1990 verrattuna päästöt 2035 ovat 65 % korkeammat. Kasvu johtuu OECD:n ulkopuolisista maista. Kehittyneiden maiden päästöt saavuttavat huippunsa 2015 ja alkavat sitten vähentyä. NPS vastaa noin neljän asteen lämpötilan nousua pitkällä tähtäyksellä, kuva 18.

450 skenaario tähtää ilmastomuutoksen rajoittamiseen Cancunissa hyväksyttyyn kahteen asteeseen. Ilmakehän CO₂eq pitoisuus saa nousta korkeintaan 450 miljoonasosaan tilavuudesta. Pitoisuus oli 1800-luvulla 280, mutta on jo 385 ppmv. Energian päästöt saavuttavat 450 skenaariossa maksiminsa 2020 (55 % suuremmat kuin referenssivuotena 1990), ja alkavat sitten pudota jyrkästi. 2035 ne ylittävät 1990 päästöt enää 7 %. IEA:n mukaan tarvitaan erittäin voimakkaita toimia tavoitteen saavuttamiseksi. Toimet tulevat sitä kalliimmiksi mitä myöhemmin niihin ryhdytään.

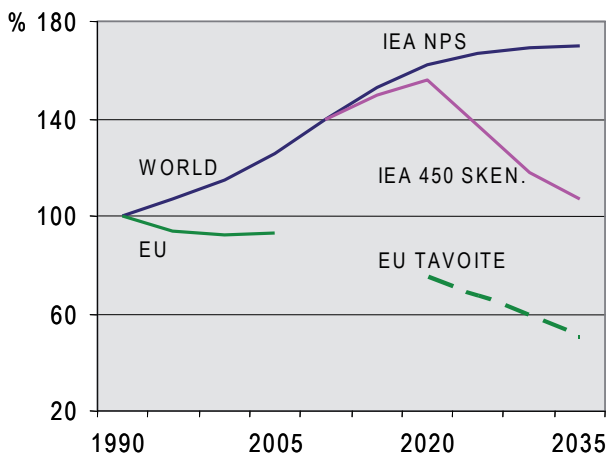
Päästöjen vähentämisestä lähes puolet saadaan aikaan energian käytön tehokkuutta parantamalla. Hieman suurempi osa vähennyksestä perustuu vähäpäästöiseen energian tuotantoon erityisesti sähkön tuotantoon. Uusiutuvan energian ja ydinvoiman osuus kasvavat, hiilidioksidin talteenotto otetaan käyttöön. Maakaasu korvaa kivihiihtä. Arvio 450 skenaarion lisäkustannuksista on 12 000 miljardia USD vuoteen 2030 mennessä. IEA on melko pessimistinen skenaarion toteutumisen suhteen.

EU:n komissio on helmikuussa 2011 esittänyt EU:n parlamentille suunnitelman EU:n päästöjen vähentämiseksi (*A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*). EU on asettanut tavoitteeksi, että vuoteen 1990 verrattuna päästöt vuonna 2020 ovat pudonneet 20 %, 40 % vuonna 2030 ja 80 % vuonna 2050. Toteuttamisen hinnaksi komissio arvioi 270 miljardia euroa vuosittain 40 vuoden ajan eli yhteensä 10 800 miljardia euroa.

Tiekartta perustuu ensisijaisesti uusiutuvan energian kasvuun ja energiatehokkuuden parantumiseen. Ydinvoiman lisääminen ei edelleenkään ole mukana. EU:n tavoiteskenaario on täysin epärealistinen. Todellisuudessa sen toteuttamisen seurauksena ilmakehään pääsee 2050 mennessä runsaasti lisää kasvihuonekaasupäästöjä.

Päästöt vähenevät vain laskennallisesti, kun EU määrittelee puun polton ja biopolttoaineet päästöttömiksi. Tuulisähkökin lisää päästöjä, kun sitä varten on tuotettava runsaasti luonnonvaroja kuluttavia tarvikkeita. Lisäksi maan käyttö tuottaa typpioksiduulipäästöjä. Sata terawattituntia tuulisähköä (korvaamaan 10 ydinvoimalaa) vaatii lähes 1000 neliökilometriä pinta-alaa.

Kuva 18. IEA:n ja EU:n skenaarioita maailman energiapäästöistä



Energiapäästöjen kehitys verrattuna referenssivuoteen 1990 (1990 = 100 %, 20 500 Mt) IEA NPS (2010): New Policies Scenario. IEA 450 skenaario (2010): Lämpötilan nousun rajoittamisen 2 asteeseen pyrkivä skenaario. Lisähinta 2030 mennessä 12 000 mrd USD. EU:n tavoite (2011) EU Commission: A Roadmap to a low carbon economy in 2050. Lisähinta 2050 mennessä 10 800 miljardia euroa.

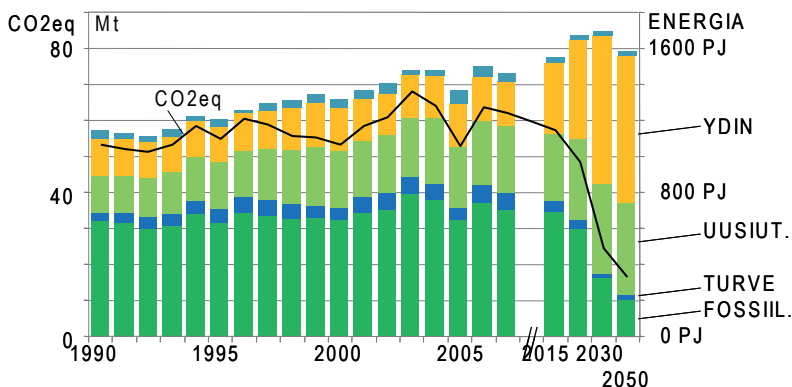
M.Tiuri 10.3.2011. Ref.: IEA *World Energy Outlook 2010*; EU Commission 2011.

Ydinvoimaa lisäämällä kestävän tulevaisuuden tielle

Ydinvoima ei tuota kasvihuonekaasupäästöjä eikä pienhiukkaspäästöjä. Sen lisääminen on tehokkain keino päästöjen vähentämiseksi tiellä kestävään energiantuotantoon. Se on myös välttämätön keino, koska uusiutuvaa energiaa ei ole riittävästi. Insinöörijärjestöjen energiaskenaarion mukaan (kuva 19) Suomen energian tuotannon ja käytön päästöt alenevat ydinvoiman lisäämisen ansiosta vuoden 1990 tasosta 2050 mennessä 73 %. Muut päästöt alenevat suhteellisesti vielä enemmän, joten 80 % alenema kokonaispäästöissä on saavutettavissa.

Ydinvoiman hyväksyttävyys edellyttää, että kansalaisilla on oikeata tietoa ydinvoimaloiden toiminnasta, ydinvoimalaonnettomuuden seurauksista, ydinjätteiden turvallisuudesta, uraanikaivoksista ja luonnon tuottamasta radioaktiivisesta säteilystä. Tiedon puute ja väärät tiedot pitävät yllä ydinvoiman vastustusta. Muilla energialähteillä on omat

Kuva 19. Energian päästöt Suomessa Insinöörien ilmasto-ohjelman mukaan



Energian päästöt ovat suurimmillaan 2003 (67 Mt), ja putoavat 15 miljoonaan tonniin 2050 mennessä. Silloin yli puolet Suomen energiasta on ydinvoimaa. 1600 PJ on 38 Mtoe.

Lähde: TEK & UIL insinöörien ilmasto-ohjelma 2009.

haittansa, joita on selvitetty luvussa 3. Seuraavassa selvitetään ydinvoiman ominaisuuksia ja verrataan ydinvoimaa muihin energialähteisiin. Ydinvoimaonnettomuuksia tulee, mutta niiden seuraukset eivät saa ylittää muiden energialähteiden haittoja.

Ydinvoiman etu on, että uraanissa energia on tiiviissä muodossa, jolloin kuljetettavat ja käsiteltävät massat ovat pieniä verrattuna muihin voimaloihin (kuva 11, luku 3). Kaksi rekkakuormaa vuodessa riittää uraanin kuljetukseen ja varmuusvarasto voi helposti kattaa vuoden tarpeen, koska uraani on halpaa ja vähän tilaa vaativaa verrattuna muiden voimaloiden polttoaineisiin.

Ydinvoimala kuluttaa luonnonvaroja ratkaisevasti vähemmän kuin saman verran sähköä tuottavat tuulivoimalakentät. Biovoimalat vaativat suurten massojen kuljetutusta ja aiheuttavat kasvihuone- ja pienhiukkaspäästöjä. Uusiutuva energia vaatii myös laajoja rakennusalueita.

Ydinvoima perustuu uraanin hajoamiseen ydinreaktioissa, jotka luonnossa hitaasti miljardien vuosien kuluessa loppuvat. Luonnon uraanista noin yksi prosentti on fissiokelpoista U235. Se on rikastettava kolmeen prosenttiin fissioidinvoimalaa varten. Joissakin ydinvoimaloissa osa uraanista on korvattu aseplutoniumilla USA:n ja Venäjän puretuista ydinaseista saadun aseplutoniumin tuhoamiseksi.

Uraanista vapautuu neutroneja, joita vesi hidastaa niin, että syntyy lämpöä tuottava ketjureaktio. Lämmön synnyttämä höyry pyörittää turbiinia ja turbiini sähkögeneraattoria. Tavanomaisessa polttovoimalassa höyry tuotetaan polttamalla kattilassa turvetta, hiiltä, öljyä maakaasua tai puuta. Tehoa säädetään ketjureaktiota vaimentavilla vaimennusainesauvoilla, joita työnnetään uraanisauvojen väliin.

Reaktoriastia on paksua terästä ja sitä ympäröi vahva teräsbetoninen suojarakennus, suojakupu. Suojakuvun tarkoituksena on estää onnettomuustapauksissa radioaktiivisten aineiden pääsy kuvun ulkopuolelle. Koko järjestelmä on normaalin voimalarakennuksen sisällä.

Voimalassa on myös vesiallas käytetyille polttoainesauvoille. Sauvat säteilevät voimakkaasti, mutta muutama metri vettä niiden päällä vaimentaa säteilyä olemattomaksi. Muutaman vuoden kuluttua sauvat

siirretään vedellä täytettyyn väliaikaisvarastoon, jossa niitä pidetään parikymmentä vuotta. Sinä aikana sauvojen säteily vähenee tuhannesosaan ja ne voidaan loppusijoittaa esimerkiksi 500 metrin syvyyteen luolaan kuten Olkiluodossa.

Kun nykyaikainen hiilisähkö korvataan ydinsähköllä hiilidioksidipäästöt vähenevät noin miljoonalla tonnilla yhtä terawattituntia (TWh) kohti. Ydinvoiman ansiosta maailman sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt 2008 olivat 21 % pienemmät kuin ilman ydinvoimaa. Uusiutuvan sähkön avulla maailman päästöt vähenivät 3 % kun vesivoimaa ei lasketa mukaan.

Suomen päästöjä voidaan ratkaisevasti vähentää ydinvoimaa lisäämällä. Olkiluoto 3 tuottaa ydinsähköä noin 13 TWh, joten voimalan tultua käyttöön hiilivoimaloiden sijasta, Suomen päästöt alenevat yli 15 %. Vähennemä on pienempi, jos ydinvoima korvaa maakaasusähköä. Kahden lisäydinvoimalan rakentaminen vie Suomea tielle kestävään energiatulevaisuuteen.

Tshernobylin kauhukuvat ja todellisuus

Ydinvoimaa vastustetaan vedoten ydinvoimalaonnettomuuksien suuriin riskeihin ja ydinjätteiden riskeihin. Vastustajat vetoavat 1986 huhtikuussa Neuvostoliittoon kuuluneessa Ukrainassa tapahtuneeseen Tshernobylin ydinvoimalakatastrofiin ja sen seurauksiin. On tärkeätä, että maailman pahimman ydinvoimalaonnettomuuden seuraukset tunnetaan, jotta ydinvoiman vaaroja voidaan verrata muiden energialähteiden vaaroihin. Vertailuissa on otettava huomioon, että Tshernobylin ydinvoimala oli tyyppiä, jota länsimaissa ei ole hyväksytty käytettäväksi.

Onnettomuus Ukrainassa 1986 osoitti, että Tshernobylin reaktorin rakenteesta ja väärinkäytöstä johtuen onnettomuuden seurauksena voi olla suuren säteilevien aineiden määrän leviäminen kauas syntypai-

kaltaan. Tshernobylin onnettomuuden vaikutuksesta monissa maissa kuten Saksassa, Ruotsissa, Itävallassa ja Italiassa päätettiin luopua ydinvoimasta. Tshernobylin onnettomuuden seurauksia on YK:n tutkimusten mukaan suuresti liioiteltu.

Tshernobyl-tyyppinen voimala on alun perin suunniteltu tuottamaan sähkön lisäksi aseplutoniumia. Sen reaktorissa toimii neutronien hidastimena grafiitti veden sijasta. Varsinaista suojakupua ei ole. Reaktoria ympäröi paksu säteilysuoja, jonka yläpuoli on erillinen kansi.

Tshernobylissä voimalan ohjeiden vastainen käyttö johti reaktorin sydämen kuumenemiseen, vetyräjähdysten aiheuttamaan säteilysuojan kannen lentämiseen pois paikaltaan ja grafiitin syttymiseen. Reaktori paloi kilometrien korkeuteen ulottuvana soihtuna monta päivää ja levitti sydämen radioaktiivisia aineita tuulen mukana tuhansien kilometrien etäisyydelle.

Onnettomuus tuotti suuria otsikoita, kuva 20. Niitä vauhditti onnettomuuden salailu ja tietämättömyys säteilystä ja sen vaikutuksista. Säteilyannoksissakin Neuvostoliitossa käytettiin vanhentuneita mittayksiköitä, jotka olivat satakertaisia länsimaissa käytössä oleviin.

Onnettomuuden seurauksia on tutkittu jo 25 vuotta. Luotettavin tieto on YK:n säteilyn asiantuntijoiden vuonna 2000 julkaisema monisatasivuinen raportti *Explosures and effects of the Chernobyl accident* (Tshernobylin onnettomuuden altistukset ja vaikutukset) sekä Maailman terveysjärjestön WHO:n ja seitsemän muun YK:n järjestöjen asiantuntijoiden tutkimuksiin perustuva vuonna 2005 julkaistu raportti *Chernobyl: the true scale of the accident* (Tshernobyl: onnettomuuden oikea koko). Raportit antavat seikkaperäisen selvityksen onnettomuudesta ja sen seurauksista.

Raporttien mukaan onnettomuuden välittömänä seurauksena 56 ihmistä kuoli. Heistä 47 oli työssä voimalassa onnettomuuden sattuessa ja kuoli voimakkaan säteilyn aiheuttamaan säteilysairauteen. Yhdeksän lasta on kuollut kilpirauhassyöpään, jonka on aiheuttanut ilmaan päässyt radioaktiivinen jodi (puoliintumisaika kahdeksan vuorokautta). Kilpirauhassyöpä on normaalisti hyvin harvinainen, joten säteilystä johtuvat on voitu tunnistaa. Parituhatta lasta on sairastunut,

mutta selviytynyt hoidon ansiosta. Kasvat lapset olisivat tarvinneet joditabletteja, mutta aikuiset söivät ne.

YK:n selvitykseen mukaan Tshernobylin onnettomuuden vuoksi merkittävästi säteilyä ovat saaneet puhdistustöissä olleet ja lähialueen asukkaat, jotka evakuoitiin muutaman päivän kuluessa, sekä tarkan kontrollin alaisella laskeuma-alueella Ukrainassa, Venäjällä ja Valko-Venäjällä asuvat yhteensä lähes 600 000 ihmistä. Keskimääräinen elinikäinen onnettomuudesta johtuva lisäsäteilyannos on noin puolet luonnonsäteilyn annoksesta. Muualla laskeuma-alueilla asuville 5,1 miljoonalle ihmiselle onnettomuudesta johtuva lisäsäteily on noin kymmenesosa luonnosta saatavasta. Kaikkiaan WHO:n raportin mukaan on

Kuva 20. Tshernobyl-harhaotsikoita kolme vuotta onnettomuuden jälkeen 1989



YK:n asiantuntijoiden Tshernobyl-raportin (UN2000) mukaan epämuodostumia ei ole todettu. Säteilyannokset ovat pienempiä kuin Suomessa uraanialueilla. Uusimman 2009 selvityksen mukaan eläimet voivat hyvin Tshernobylin alueella. M. Tiuri 1995.

laskennallisesti odotettavissa 4000 säteilyn aiheuttamaa syöpäkuolemaa kymmenien vuosien kuluessa eli keskimäärin 60 vuosittain.

YK:n selvityksessä on tutkittu muita säteilyn mahdollisesti aiheuttamia sairauksia vertaamalla tilanteeseen alueella ennen onnettomuutta. Laskeuma-alueiden asukkaat epäilevät monien sairauksien syyksi säteilyä. Huolelliset vertailut osoittavat, että todellisuudessa säteily ei ole aiheuttanut lasten leukemian tai muiden sairauksien eikä syntymäepämuodostumien lisääntymistä.

Selvityksen mukaan laskeuma-alueilla asuvat ihmiset voivat huolestua ja tuntevat itsensä sairaiksi. He ovat vakuuttuneita siitä, että syyinä on säteily ja uskovat kuolevansa säteilyn vaikutuksiin. Paikalliset viranomaiset ja avustusjärjestötkin myötäilevät uskomuksia. YK:n selvityksen mukaan syyt ovat psykologisia ja johtuvat säteilyn pelosta ja tiedon puutteesta. WHO pitääkin välttämättömänä oikean tiedon saamista perille ihmisille elämänuskon palauttamiseksi.

YK:n vuonna 2000 ja WHO:n 2005 julkaisemat raportit eivät herättäneet median mielenkiintoa, koska niissä aikaisemmat sensaatioväitteet todettiin perusteettomiksi.

Harrisburgin ja Fukushimaon onnettomuudet

USA:n Harrisburgin ja Japanin Fukushimaon ydinvoimalaonnettomuudet antavat tietoa ja kokemusta onnettomuuksien seurauksista länsimaissa ydinvoimaloissa.

Harrisburgin (Three Mile Island) ydinvoimalaonnettomuus 1979 on USA:n suurin. Käyttövirheen vuoksi veden pinta reaktorissa putosi liian alas, ja reaktori alkoi kuumentua. Osa polttoaineesta suli. Suojakupu teki tehtävänsä, eikä voimalan ulkopuolelle päässyt säteilyä, joka olisi ollut merkittävää verrattuna luonnonsäteilyyn. Karkuun pääsi jonkun verran radioaktiivisia kaasuja muun muassa jodia. Kaasuja oli aika ajoin päästettävä pois paineen vähentämiseksi suojarakennuksessa. Voimala tuhoutui. Sitä oli jäähdytettävä parikymmentä vuotta ennen

kuin radioaktiivisuus aleni riittävästi niin, että reaktorin ydinmateriaali voitiin purkaa ja viedä välivarastoon odottamaan loppusijoitusta. Harrisburgin toinen ydinvoimala toimii edelleen.

Länsimaisten ydinvoimaloiden toimintavarmuutta osoittaa, että Harrisburgin onnettomuuden jälkeen ydinvoimalat ovat toimineet 31 vuotta ennen kuin on tapahtunut seuraava reaktorin sydämen osittaiseen sulamiseen johtanut Fukushimaa onnettomuus.

Japanissa maanjäristykset ovat yleisiä, ja ydinvoimalat pyritään rakentamaan maanjäristyksen kestäväksi. Fukushimaa ydinvoimalat kestivät poikkeuksellisen voimakkaan maanjäristyksen maaliskuussa 2011. Järitys tuhosi alueen sähköjakeluverkot. Voimalat pysähtyivät heti ja varavoimageneraattorit käynnistyivät tuottamaan sähköä. Kymmenkunnan minuutin kuluttua maanjäristystä seurannut yli kymmenen metrin korkuinen tsunami pyyhki voimaloiden yli. Se pysäytti generaattorit ja pilasi voimaloiden sähkölaitteita. Reaktorien vedenkierrosta huolehtivat pumpput pysähtyivät ja reaktorit alkoivat kuumentua.

Suojakuppuun tuli vetyä ja radioaktiivisia kaasuja, joita oli päästettävä ulos, kun paine nousi liikaa. Ero Harrisburgiin on, että Fukushimaa tilanne jatkui päiväkausia, joten radioaktiivisia aineita pääsi ympäristöön enemmän. Vetyräjähdykset hajottivat voimalarakennuksia.

Toinen ero on käytettyjen ydinpolttoainesauvojen säilytysaltaan päästäminen kuivumaan. Näkyviin tulevien sauvojen gammasäteily on tappava altaan luona ja vaarallinen voimalassa. Jos sauvat kuumenevat yli 1000 asteen, niiden zirkonium-suojakuori syttyy palamaan ja syntyy radioaktiivisia päästöjä. Altaat oli kaukotäytettävä.

Suurin ero on, että Fukushimaa yhden reaktorin suojakuvun alaosaan tuli reikä, josta pääsi radioaktiivista vettä jäähdytysjärjestelmään ja sieltä mereen. Merivedessä on luonnon uraania ja muita radioaktiivisia aineita kolme miljoonasosaa. Päästöt laimenevat suureen määrään merivettä, joten kauempana voimala-alueesta veden säteily ei merkittävästi nousse.

Lisäsäteily rajoitti työskentelyä voimala-alueella. Työntekijöitä vaihdettiin usein, mutta lisäsäteilyannos nostaa syövän todennäköisyyttä.

Vuotaneen radioaktiivisen materiaalin määrä selviää vähitellen. Kansainvälinen Ydinenergiajärjestö IAEA on määritellyt Fukushima onnettomuusluokan samaksi kuin aikoinaan Harrisburgin. Siten radioaktiivisen materiaalin aiheuttama säteilyannos voimalan ulkopuolella on todennäköisesti vähäinen verrattuna luonnonsäteilyyn.

Säteilyn mittauslaitteet ovat äärimmäisen herkkiä niin, että merkityksetönkin säteily voidaan mitata. Ei riitä, että väitetään säteilyä havaitun esimerkiksi Tokiossa. On tiedettävä mittauksen tulos. Suomessakin keväisin roudan sulettua tulee radonkaasupurkauksia, jotka tilapäisesti nostavat säteilytasoa pilven kohdalla.

Fukushiman ydinvoimaloita on menetetty tsunamin vuoksi, mutta maanjäristyksen ja tsunamin aiheuttamat taloudelliset kokonaismenetykset ovat moninkertaiset. Vioittuneita reaktoreita on jäähdytettävä vuosikausia ennen kuin ne voidaan purkaa.

Kuvassa 21 on yhteenveto eri energiantuotantomenetelmien voimaloiden ulkopuolisille aiheuttamista kuolemista. Poltovoimaloiden

Kuva 21. Energiantuotantoon liittyvät kuolemat

ILMASTONMUUTOS

???

PIENHIUKKASET (PUUNPOLTTO, POLTTOVOIMALAT, DIESELAUTOT)

1300 SYDÄN- JA KEUHKOSAIR. KUOLEMAA SUOMESSA JOKA VUOSI ([WHO](#))
350 000 EU-25-MAISSA JOKA VUOSI ([WHO 2000](#))

TSHERNOBYLIN ONNETTOMUUS

9 KILPIRAUHASSYÖPÄÄN KUOLLUTTA LASTA ([UN 2000](#))
47 SÄTEILYSAIRAUTEEN KUOLLUTTA VOIMALAN TYÖNTEKIJÄÄ ([UN2000](#))
4000 SYÖPÄKUOLEMAA (LASKENN.) 70 VUODESSA (60 / VUOSI) ([WHO 2005](#))
EI SYNTYMÄEPIMUODOSTUMIA, EI LASTEN LEUKEMIAA ([UN 2000](#))
SÄTEILYN PELOSTA RUNSAASTI PSYKOSOMAATTISIA SAIRAUKSIA ([UN](#))

LÄNSIMAINEN YDINVOIMA

0 KUOLEMAA ULKOPUOLISILLE

Suomessa puun pienpoltto aiheuttaa 250 pienhiukkaskuolemaa vuosittain (THL 2010). Luonnonsäteilyn ainoa todettu vaikutus on asuntojen radonin tuottama noin 300 kuolemaa vuosittain (STUK). M.Tiuri 2011.

ja puunpolton pienhiukkasten seuraukset ovat paljon pahemmat kuin maailman pahimman ydinvoimalaonnettomuuden. Ilmastonmuutoksen seuraukset ovat todennäköisesti vielä pahemmat.

Median tiedotustoiminta onnettomuudesta on ollut edesvastuutonta. Maanjäristyksen ja tsunamin vuoksi kokonaisia kaupunkeja on tuhoutunut ja yli 30 000 ihmistä on kuollut. Media on keskittynyt kuvaamaan alueen ydinvoimaloiden vaikeuksia ja uutisista on jopa saanut käsityksen, että säteily on syynä kuolemiin. Tie kestäväään tulevaisuuteen edellyttää parempaa koulutusta kansalaisille energia-asioissa ja tiedotusvälineissä asiantuntevia toimittajia.

Luonto säteilee ydinvoimaloita enemmän

Ydinvoiman vastustus perustuu osittain radioaktiivisen säteilyn pelkoon. Ei tiedetä, että luonto tuottaa radioaktiivista säteilyä, johon ihminen on elämän kehittyessä sopeutunut. Nykyisin arvioidaankin, että luonnonsäteilyyn verrattuna hyvin pienet säteilyannokset eivät ole vaarallisia.

Radioaktiivinen säteily katkoo kromosomeja, mutta soluissa toimii korjausmekanismi, joka korjaa virheet. Ihminen on ”tottunut” normaaliin luonnonsäteilyyn. Jos on saanut suuren säteilyannoksen, joka paloittelee kromosomeja kahteen tai useampaan osaan, korjausmekanismi voi toimia virheellisesti. Laskemalla virheellisten kromosomien lukumäärä voidaan saadun säteilyannoksen suuruus myöhemmin arvioida.

Säteilyn vaikutuksen mitta on millisievert (mSv). Luonnon radioaktiiviset aineet kuten maaperän uraani, torium ja uraanin hajoamisesta syntyvä radon aiheuttavat maailman ihmisille keskimäärin 165 mSv:n elinikäisen säteilyannoksen. Suomalaisille säteilyannos on keskimäärin 220 mSv eli 55 mSv suurempi johtuen graniittipitoisen maaperän runsaasta uraanista ja radonista. STUK:n mittauksen

mukaan 102 000 uraanialueilla asuvaa suomalaista saa yli 800 mSv:n säteilyannoksen, kuva 22.

Tshernobylin onnettomuus aiheutti hätätyöhön komennetuille, heti evakuoituille ja tarkan kontrollin suuren laskeuman alueella asuville keskimäärin 70 mSv elinikäisen lisäsäteilyannoksen. Yli viisi miljoonaa ihmistä laskeuma-alueilla saa elinaikanaan 17 mSv:n lisäannoksen. Se on kymmenesosa luonnon säteilystä. Luonnon säteilyn saa vähitellen, joten sen vaikutus voi olla pienempi. Suomessa maaperästä ja radonista johtuva säteilylisä 55 mSv on lähes yhtä suuri kuin Tshernobylin voimakkaan laskeuman alueella onnettomuudesta saatu lisä.

Harrisburgin onnettomuuden säteilyvuoto oli alle sadasosan luonnonsäteilystä, mutta pelästytti lähialueen asukkaat, joilla ei ollut tietoa luonnon säteilyannoksista.

Tiedot säteilyn vaikutuksista perustuvat Japanin atomipommituksissa suhteellisen suuria säteilyannoksia saaneiden tutkimuksiin. Yli 1000 mSv:n annos muutaman tunnin aikana aiheuttaa säteily sairauden. Yli 3500 mSv:n saaneista puolet kuolee. Yli 6000 mSv tappaa. Näin

Kuva 22. Tshernobylin onnettomuuden ja luonnon säteilyannokset

TSHERNOBYLIN ONNETTOMUUDEN AIHEUTTAMAT ELINIKÄISET KESKIMÄÄRÄISET SÄTEILYANNOKSET

- 17 mSv** LASKEUMA-ALUEILLA UKRAINASSA, VENÄJÄLLÄ JA VALKO-
VENÄJÄLLÄ ASUVILLE 5,1 MILJOONALLE IHMISELLE
- 70 mSv** 600 000 HÄTÄTYÖSSÄ OLLEILLE, LÄHES HETI EVAKUOIDUILLE
SEKÄ SUUREN LASKEUMAN TARKAN KONTROLLIN ALUEELLA
ASUVILLE

LUONNONSÄTEILYN AIHEUTTAMAT ELINIKÄISET KESKIMÄÄRÄISET SÄTEILYANNOKSET

- 165 mSv** MAAILMAN IHMISILLE
- 220 mSv** SUOMALAISILLE
- >800 mSv** 102 000 SUOMALAISELLE (URAAIALUEILLA ASUVILLE)

Maaperän radioaktiivisten aineiden (uraani, torium, radon jne.) runsaudesta johtuen suomalaisten elinikäinen säteilyannos 55 mSv on suurempi kuin maapallolla keskimäärin.

M.Tiuri 2008. Lähteet: YK:n Tshernobyl-raportti UN 2000, 2005; Säteilyturvakeskus.

suuria annoksia voi yleensä saada vain voimalan sisällä onnettomuuden sattuessa.

Pienemmillä säteilyannoksilla vaikutuksen oletetaan oleva verrannollinen annoksen suuruuteen. Tutkimustulosten mukaan 200 mSv:n säteilyannos lisää yhdellä prosentilla todennäköisyyttä kuolla syöpään. Syövän lisääntyminen on ainoa säteilyn seuraus, joka Japanissa atomipommituksista selvinneillä on todettu. Perinnöllisiä vaikutuksia ei ole havaittu, vaikka seuranta on jo jatkunut usean sukupolven ajan.

Onnettomuuden säteilylaskeuman aiheuttamat syöpäkuolemat voidaan arvioida vain laskennallisesti, sillä pahimmillakin alueilla säteilyn aiheuttamia syöpiä on vähän verrattuna tavanomaisiin syöpäkuolemiin. Normaalisti noin viidesosa ihmisistä kuolee syöpään.

Ydinvoiman kehitysnäkymät

Tutkijat kehittävät fuusioydinvoimaa (seuraava kappale). Se olisi lopullinen ratkaisu ihmiskunnan energiaongelmiin, mutta ei ole varmaa, että kehitystyö onnistuu tai, että se vie odotettua enemmän aikaa. Nykyiseen fissioydinvoimaan voidaan joutua turvautumaan vielä pitkään. Ydinvoimaloista tulee yhä turvallisempia tekniikkaa ja käyttökulttuuria kehittämällä ja ottamalla oppia onnettomuuksista.

Esimerkiksi uusissa voimaloissa vedyn kerääntyminen on estetty, joten Fukushimaa vaaralliset vetyräjähdykset eivät ole mahdollisi. Uudet voimalat kestävät suuren matkustajakoneen törmäyksenkin. Suojavyöhyke, jolla säteily voi suuronnettomuudessa merkittävästi ylittää luonnonsäteilyn, ulottuu viiden kilometrin etäisyydelle

Ydinvoiman vastustajat vetoavat ydinjätteiden vaarallisuuteen. Jätteet voidaan jälleenkäsittää, jolloin niiden säteily saadaan lähes vaarattomalle tasolle. Samalla saadaan uraania kierrätettäväksi. Jälleenkäsitelty uraani on kuitenkin kallista verrattuna uuteen.

Käsitlemättömänä ydinjätteet vaativat pitkän noin sadantuhannen vuoden säilytysajan, jotta säteilytaso alenisi vaarattomaksi. Muutaman tuhannen vuoden kuluttua jätteiden säteily vastaa uraanimalmin säteilyä. Toisaalta tekniikan kehittyessä on mahdollista, että jätteet jossakin vaiheessa otetaan uudestaan käytettäväksi.

Suomessa jätteet sijoitetaan 500 metrin syvyyteen kallioperään. Suomen kallioperä on luonnon ydinmateriaalihauta. Graniitin uraanipitoisuuden vuoksi maaperässä on luonnon radioaktiivisuutta niin, että sen säteily vastaa 400 ydinvoiman jätteiden säteilyä. Ydinjätteet eivät siis olennaisesti lisää säteilyä. Omalaatuinen huoli on ydinjätteiden selviäminen tulevasta jääkaudesta. Ne selviävät, mutta entä suomalaiset?

Uraanikaivoksistakin on tehty silmätikku. Toisen maailmansodan aikana ei uraanikaivosten turvallisuuteen kiinnitetty juuri lainkaan huomiota, kun oli tehtävä atomipommeja mahdollisimman nopeasti. Nykyisin uraanikaivokset ovat kaivostoimintaa, jota koskevat normaalit säännöt. Esimerkiksi kaivosjätteistä, joista uraanimalmi on viety pois, on huolehdittava. Radonpitoisuus ei saa ylittää turvallisuusrajaa. Radon on Suomessa ongelma muissakin louhintatöissä kuin uraanikaivoksissa. Kampin alueen tunnelien louhinnassa radonpitoisuudet nousivat hälyttävän suuriksi.

Ydinvoiman vastustajat pelkäävät kaivoksen uraanin pilaavan pohjaveden. Todellisuudessa uraanialueilla pohjaveteen on miljardien vuosien kuluessa liennut urania niin, että arvot ylittävät veden sallitun pitoisuuden moninkertaisesti. Uraani on raskasmetalli, joten vedessä se on myrkyllistä. Maaperän suhteellisen suuren uraanipitoisuuden vuoksi Suomessa on vesijohtovesissäkin usein urania enemmän kuin sallitaan Keski-Euroopassa.

Uraania on Suomen maaperässä niin paljon, että Talvivaaran nikkelikaivos tuottaa sivutuotteena urania lähes sen verran kuin Suomen nykyiset ydinvoimalat tarvitsevat.

Uraanin riittävyys ei ole huolenaihe. Uraania on merivedessä kolme miljoonasosaa painosta eli kaikkiaan uraanin nykyinen vuosikulutus voimaloissa 50 miljardikertaisena. Merivedestä suodatettuun uraaniin perustuvan polttoaineuraanin hinta voi olla lähes kymmenkertainen,

mutta se nostaisi ydinsähkön hinnan vain kaksinkertaiseksi, koska polttoaineen osuus ydinsähkön hinnasta on viiden prosentin luokkaa.

Uraani riittää tuhansiksi vuosiksi, kun otetaan käyttöön hyötöreaktorit. Hyötöreaktorissa tarvitaan alkuun pitkälle rikastettua uraania, mutta voimalan käydessä syntyy enemmän fissiokelpoista plutoniumia kuin kuluu uraania. Hyötöreaktorissa voidaan käyttää myös tavallisen ydinvoimalan ydinjätteitä ja köyhdytettyä uraania.

Hyötöreaktoreita on kehitetty koekäyttöön muun muassa Venäjällä, Ranskassa ja Japanissa, mutta kaupallista voimaa ei ole toiminnassa. Syynä ovat erityisesti jäähdytysvaikeudet. Jäähdytykseen käytetään metalleja nesteytettyinä kuten natriumia, elohopeaa tai lyijyä. Kehitystyötä jatketaan pyrkien moduulirakenteisiin.

Nykyisten fissiovoimaloiden haittana on, että voimalan taloudellisin yksikkökoko on suuri, yli tuhat megawattia. Voimalan rakentaminen vaatii paljon pääomaa verrattuna muihin voimaloihin. USA:ssa monet yritykset ovat ryhtyneet kehittämään pieniä moduulireaktoreita (SMR), joiden teho on alle 300 MW. Ne voisivat tulla käyttöön 2019. IAEA arvioi, että 2030 niitä olisi 49–97.

Moduulirakenne sopii hyvin myös uraanipalloreaktoriin. Se on alunperin kehitetty Saksassa ja jatkotutkimusta on tehty Etelä-Afrikassa. Se olisi edullinen jo 100 MW:n kokoisena, mutta toistaiseksi hanke on jäädytetty.

Uusin innovaatio on Ranskassa kehitettävänä oleva merenpohjaan ankkuroidava ydinvoimala rannikkokaupunkien sähkönhuoltoon. Voimala on terässylinteri, jonka suurin pituus on 100 metriä ja halkaisija 15 metriä. Teho voi vaihdella 50 megawatista 250 megawattiin. Voimala rakennetaan sarjatuotantona telakalla. Prototyypin odotetaan valmistuvan 2013 ja 20 vuoden aikana voimaloita odotetaan myytävän 20.

Uraanireaktorien rinnalla ollaan kehittämässä uuden sukupolven torium-reaktoreita. Intiassa valmistuu uusi torium-reaktori 2012. Toriumia on maapallolla yli kolminkertainen määrä uraaniin verrattuna ja se on valmiina käytettäväksi. Toriumreaktorin uskotaan olevan uraanireaktoria halvempi. Sen radioaktiiviset jätteet ovat vaarallisia vain

satoja vuosia. Periaatteessa torium-reaktorit voivat käyttää ydinjätteiden plutoniumia. Intian lisäksi niitä tutkivat USA, Japani ja Venäjä.

Kestävän energiatulevaisuuden turvaamiseksi on välttämätöntä investoida ydinennergian tutkimukseen huomattavasti lisävaroja. Fisiovoimaloita tarvitaan, sillä fuusiovoimalan kehittäminen vie aikaa.

Fuusiovoima on jo näköpiirissä

Nykyinen ydinvoima perustuu raskaan atomin uraanin, plutoniumin tai toriumin hajoamisessa eli fissiossa vapautuvaan energiaan. Fissioreaktorin energiantuotto vaatii jatkuvaa ohjausta ja haittana ovat radioaktiiviset jätteet, jotka on säilytettävä biosfäärin ulkopuolella 100 000 vuotta.

Fuusiovoima perustuu kevyiden alkuaineiden yhdistymiseen raskaammiksi. Tehokkain on vedyn raskaan isotoopin deuteriumin (D) ja radioisotoopin tritiumin (T) fuusio, joka tuottaa helium-ytimen, neutronin ja 100 MWh energiaa polttoainegrammaa kohti. DT-fuusio edellyttää polttoaineen kuumentamista 100 miljoonan asteen lämpötilaan. Se on silloin täysin ionisoitunutta plasmaa, jossa positiivisesti varautuneet ytimet ja negatiiviset elektronit liikkuvat vapaina.

Fuusioenergiaa on runsaasti maailmankaikkeudessa. Aurinko ja muut tähdet ovat fuusiovoimaloita, joissa painovoima on luonut fuusion vaatiman tiheyden ja lämpötilan tähden ytimessä. Tähti ”polttaa” ensin vedyn heliumiksi ja sitten heliumin raskaammaksi alkuaineeksi aina rautaan saakka.

Fuusion aikaansaamiseksi maan pinnalla kuuma plasma on hallittava niin, ettei se kosketa reaktoriastian seiniä. Plasma pystytään hallitsemaan tokamak-rakenteella. Tokamak on donitsin muotoinen. Sen sisälle muodostetaan suprajohtavien magneettien avulla kiertävä magneettikenttä. Kenttä pakottaa plasmahiukkaset liikkumaan kentän suuntaisesti. Plasma kuumennetaan esimerkiksi tokamakiin syötetyllä radioteholla.

Plasma on kuitenkin osoittautunut erittäin vaikeasti hallittavaksi. Tutkimus on vienyt kymmeniä vuosia, mutta vähitellen on saatu lupaavia tuloksia. Euroopan koelaitos JET (Joint European Torus) tuotti 1997 lyhytaikaisesti 16 MW:n fuusiotehon. Saman verran tarvittiin tehoa plasman kuumentamiseen, joten energiavahvistus oli yksi. Voimalassa vahvistuksen tulee olla useita kymmeniä. Vahvistus kasvaa koon kasvaessa, joten voimalareaktorin on oltava suhteellisen suuri, sähköteholtaan vähintään gigawatin luokkaa.

Seuraavaa entistä suurempaa tokamakia Iteriä rakennetaan fysiikan ja tekniikan tutkimuksiin yhteistyössä EU:n sekä Intian, Japanin, Kiinan, Etelä-Korean, Venäjän ja USA:n kanssa. Sillä on tarkoitus saavuttaa 500 MW:n fuusioteho 50 MW:n kuumennusteholla. Fysiikan lisäksi selvitetään tarvittavaa tekniikkaa kuten materiaalien kestävyyttä ja magneettien rakenteita.

Iter valmistuu kokeiluihin 2020 ja maksaa 10 miljardia euroa, josta EU:n osuus on puolet. Suomesta ovat mukana Aalto-yliopisto, Helsingin yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto ja VTT. Lisäksi monet yritykset kehittävät Iterin komponenttien valmistusmenetelmiä.

Iterin jälkeen voidaan ryhtyä ensimmäisen koevoimalan rakentamiseen. Koevoimalan teho on todennäköisesti 2–3 MW. Fuusiovoimalassa syntyvä helium on normaalia kaasua, mutta neutronit aktivoivat reaktorin materiaaleja. Materiaalien valinnoista riippuen niitä joudutaan purkamisen jälkeen säilyttämään ehkä noin sadan vuoden ajan.

Fuusiovoima on tie kestävään energiaan. Sitä riittää miljooniksi vuosiksi. Deuteriumia saadaan riittävästi vedestä. Tritiumia on vähän, mutta sitä voidaan valmistaa reaktorissa litiumista, jota on maankuoressa muun muassa Suomessa. Fuusioplasma ympäröidään litiumkuorella, jolloin fuusiossa syntyvien neutronien ja litiumytimien ydinreaktioissa syntyy enemmän tritiumia kuin fuusiossa kuluu.

Fuusiovoimaloihin on vielä matkaa, mutta niistä voi tulla tärkeä ja kestävä sähköntuotannon menetelmä tämän vuosisadan jälkipuoliskolla. Fuusiosähkön hinnasta ei vielä ole tietoa, mutta fuusiosähkö on todennäköisesti nykyistä fissioydinvoimaa kalliimpaa. (Markus

Led-valaistus ja sähköautot kestävää energiatulevaisuutta

Tekniikan kehitys voi ratkaisevasti auttaa tiellä kestävään energiatulevaisuuteen vähentämällä merkittävästi yhteiskunnan tärkeiden toimintojen energiantarvetta. Valodiodit eli led-lamput ja sähköautot ovat lupaavia esimerkkejä.

Valaistuksen osuus maailman sähkönkulutuksesta on lähes viidesosa. Nykyisiin hehkulamppuihin verrattuna loistelamput tuottavat kuusinkertaiseen valovirran ja led-lamput 15-kertaisen valovirran (yli 250 lumenia wattia kohti). Led-lamppujen käyttöikä on kymmeniätuhansia tunteja eli kymmeniä vuosia. Teoreettisesti led-valaistukseen siirtymällä voi valaistukseen kuluva sähkö vähentyä jopa kymmenesosaan nykyisestä. Led-lamput vaativat vielä kehitystyötä, sillä tehon noustessa normaalin valaistuksen vaatimalle tasolle ja lampun lämmitessä valovirta putoaa loistelamppujen luokkaan. Haittana on myös kalleus.

Kuten luvussa 3 on todettu EU on lainsäädännöllä kiirehtinyt hehkulamppujen ja katuvalaistuksessa käytettävien elohopealamppujen korvaamista tehokkaammilla valonlähteillä odottamatta led-lamppujen tuloa. Yli 60 watin hehkulamppuja ei enää saa valmistaa. 60 watin lamput poistuvat 2011 ja pienempitehoiset lamput 2012. Silloin Suomessa saunat jäävät pimeiksi, sillä hehkulampun korvaavat pitkäikäiset ledit eivät kestä kuumuutta. Toisaalta hehkulamput ovat olleet hyödyllisiä monissa sovellutuksissa lämmönlähteinä. Hehkulamppuja myydäänkin nyt lämpöpallolina.

Sähköautot tulevat mullistamaan autoliikenteen, sillä niiden energiankulutus on vain kolmasosa polttomoottoriauton kulutuksesta johtuen sähkömoottorin korkeasta hyötysuhteesta. Autoliikenne kuluttaa lähes puolet maailman öljystä. Siitä yli puolet on bensiinin

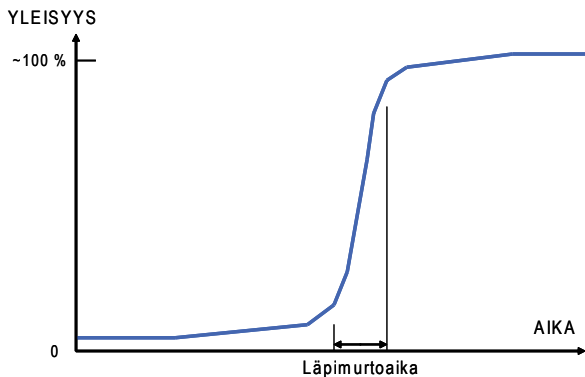
osuus, joten sähköautojen tullessa käyttöön maailman öljyn kulutus vähenee merkittävästi.

Autoliikenteen päästöt ovat nykyisin noin 20 % kasvihuonekaasupäästöistä ja kasvavat nopeasti. Sähköauton päästöt määräytyvät sähköntuotannon päästöistä. Ydinsähköä ja uusiutuvaa sähköä käytettäessä päästöjä ei ole. Suomen kahden miljoonan auton sähköä varten tarvitaan 8 TWh:n ydinvoimala (Olkiluoto 3 tuottaa 13 TWh).

Vähäpäästöisyyden vuoksi kaikki autotehtaat pyrkivät kehittämään sähköautoja. Sähköauton yleistymistä estää akkujen kehittymättömyys. Akun lataus vie tunteja ja kestävyys on huono. Akun hinta on puolet sähköauton hinnasta ja paino monta kymmentä kiloa.

Sähköauto tulee noudattamaan edullisten uusien tekniikan laitteiden ja järjestelmien kehityskaarta, kuva 23. Kehitys on hitaasti etenevää kunnes läpimurron aiheuttaa uusi innovaatio. Sähköauton kohdalla se on tehokas akku. Kun se on saatu aikaan, sähköauto yleistyy nopeasti. Henkilöautojen keski-ikä on kymmenkunta vuotta, joten läpimurron

Kuva 23. Uuden tekniikan laitteen tai järjestelmän kehityskaari



Uusi edullinen innovaatio aiheuttaa läpimurron (yleisyys nousee prosenteista lähes 100 prosenttiin). Uuden energiajärjestelmän läpimurtoaika on noin 40 vuotta. Väritelevisiön läpimurto Suomessa tapahtui 1965–1985. Taulutelevisiön läpimurtoaika on pari vuotta. Internetin läpimurto alkoi 2000 ja kestää 30 vuotta. Uusi tehokas akku johtaa sähköauton läpimurtoon 10–20 vuodessa. Läpimurron alkamisaika on vaikea ennustaa. M. Tiuri 2010.

alkamisesta kymmenessä vuodessa valtaosa myytävistä autoista on sähköautoja. Arviot läpimurron alkamisvuodesta ovat arvailuja, mutta nanotekniikan mahdollisuudet huomioonottaen se voisi olla 2020.

Sähköauton ja polttomoottoriauton välimuotoa hybridautoa on ollut saatavissa jo vuodesta 1997. Toyotan Prius-autossa on polttomoottori ja sähkömoottori. Polttomoottoria käytetään akun lataukseen ja lisäenergiaa akkuun saadaan jarrutuksesta. Kaupunkiliikenteessä polttoaineen kulutus ja päästöt vähenevät yli kolmasosalla, mutta pelkän akun varassa ajomatka on parikymmentä kilometriä.

Parhaillaan ovat tulossa pistokehybridit (plug-in hybridit), joissa akku voidaan ladata myös verkosta. Ajomatka sähköllä nousee 50 kilometriin, joka riittää useimpiin työmatkoihin. Oikeita sähköautojakin on jo tarjoilla tai tulossa. Niiden ajomatka on 150 km luokkaa.

Sähköautoja varten on rakennettava sähkönjakeluverkko. Suomessa perusta on jo valmiina autojen lämmityspisteiden muodossa. Sähköautojen ongelma on sisätilan lämmitys, sillä polttomoottorin tarjoamaa hukkalämpöä ei ole hyvän hyötysuhteen vuoksi. Ilmalämpöpumppu on todennäköinen ratkaisu.

Led-valaistuksen ja sähköautojen ansiosta energian loppukäytön hyötysuhde ja siten energian tarve vähenee ratkaisevasti. Vastaavasti vähenevät päästöt. Nanotekniikkaan perustuvat uudet materiaalit voivat vastaavasti vähentää energian käyttöä ja päästöjä. Valtion lainsäädännöllä ei tuloksiin päästä, koska innovaatioita ei synny määrämällä. Julkisen vallan ja yritysten on sijoitettava tutkimukseen ja tuotekehitykseen.

5.

Tieteellä ja tekniikalla kestävään tulevaisuuteen

Tietoyhteiskunta perustuu uuteen tietoon ja osaamiseen

Ihmiskunta on keräily-yhteiskunnasta siirtynyt maatalousyhteiskunnan ja teollisuusyhteiskunnan kautta nykyiseen tietoyhteiskuntaan. Kaikki maat eivät vielä ole tietoyhteiskunnassa. Oikeastaan kaikki yhteiskuntatypit ovat edelleenkin edustettuina maapallolla Amazonin sademetsien intiaaniheimoista nykyiseen Suomeen.

Tietoyhteiskunnan perusolemus on monille epäselvä. Suomessa vuoden 2007 hallitusohjelmassa tietoyhteiskuntakehityksen edistämisellä tarkoitettiin tietoyhteyksien parantamista ja laajempaa käyttöä. Laajat tietoyhteydet ja niiden käyttö ovat ominaista tietoyhteiskunnalle, mutta sekään ei kuvaa tietoyhteiskunnan perusolemusta. Globalisaatio puolestaan on tietoyhteiskuntakehityksen tulos.

Oikean kuvan tietoyhteiskunnan perimmäisestä ominaisuudesta antaa luvussa 1 (kuva 1) esitetty tietoyhteiskunnan määrittely yhteiskunnaksi, joka perustuu uuteen tietoon ja osaamiseen. Uutta tietoa hankitaan järjestelmällisesti perustutkimuksen ja soveltavan tutki-

muksen sekä tuotekehityksen kautta. Osaamista parannetaan entistä laajemman koulutuksen ja jatkuvan oppimisen avulla.

Avainasemassa tietoyhteiskunnassa ovat yliopistot, jotka tuottavat uutta tietoa ja kouluttavat ylimmän tason osaajia. Kaikki koulutusasteet ovat tärkeitä kokonaisuuden toimimiseksi. Uusia tuotteita ja palveluita kehittävät yritykset vievät omalta osaltaan tietoyhteiskuntaa eteenpäin.

On tärkeätä huomata, että tietoyhteiskunta antaa ensikerran pienille maille kuten Suomelle suurempien maiden rinnalla tasavertaiset mahdollisuudet menestyä. Teollisuusyhteiskunnassa suurilla mailla oli etulyöntiasema riittävien kotimarkkinoiden kautta. Niiden oli mahdollista muista riippumatta riittävään väestöpohjaan nojautuen kehittää teollisuutta ja palveluita. Globalisoituneessa tietoyhteiskunnassa pienikin maa voi menestyä erikoistumalla ja investoimalla uuden tiedon hankintaan ja osaamiseen. Vastaavasti kehitysmaat voivat menestyä parantamalla osaamistaan.

Avaruustekniikka kerskatutkimusta?

Tietoyhteiskunnan kehittymistä on alkuvaiheissa hidastanut visioiden puute. Ei ole uskottu tutkimuksen hyödyllisyyteen. Avaruustutkimus ja avaruustekniikka ovat hyvä esimerkki. Monissa maissa avaruustutkimuksen alkuvuosina pääsaavutukseksi todettiin teflonpäällysteinen paistinpannu!

Suomessa opetusministeriö laati 1973 selonteon Suomen tutkimuspolitiikasta. Selontekoa eduskunnalle esitellessään opetusministeri totesi, että Suomessa on varaa hyvään tutkimukseen kun ei ole uhrattu varoja avaruustutkimuksen kaltaiseen kerskatutkimukseen!

Päätutkimuskohteiksi Suomen ohjelmassa oli valittu kulttuurin tutkimus, demokratian tutkimus ja kansanterveydentutkimus. Vasta valmistelun loppuvaiheessa teollisuuden painostuksesta saatiin mukaan

”kansan elinehtojen” tutkimus, jolla tarkoitettiin tekniikan tutkimusta. Demokratiatutkimuksen tulokset todettiin myöhemmin nollatutkimukseksi. Kansanterveyden tutkimuksessa selvisi, että asunnoissa kadunpuolella melutaso on suurempi kuin pihanpuolella! Onneksi tutkimusohjelma unohtui kun öljykriisi tuli vuoden 1973 lopulla.

Kokemus on osoittanut, että luonnontieteellinen, teknillistieteellinen ja lääketieteen tutkimus tuottavat tietoa, joka johtaa hyödyllisiin sovellutuksiin. Avaruussovellutukset ovat nykyisin olennainen osa jokapäiväistä elämää.

Televisiosatelliitteja katsotaan kodeissa yleisesti joko suoraan tai kaapelin välityksellä. Nekin herättivät aluksi epäluuloja monissa maissa. Kun kaapelilakia aikoinaan säädettiin Suomen eduskunnassa vasemmiston aloitteesta esitettiin rangaistavaksi, jos lähettää Suomeen satelliitista ohjelmaa, johon Yleisradio ei ole antanut lupaa! Aloite ei saanut kannatusta ja muutaman kuukauden kuluttua kiinalainen satelliitti lähettikin ”Itä on punainen” laulua kaikille.

Suomessa avaruustutkimus kärsi pitkään resurssien puutteesta ja ennakkoluuloista.

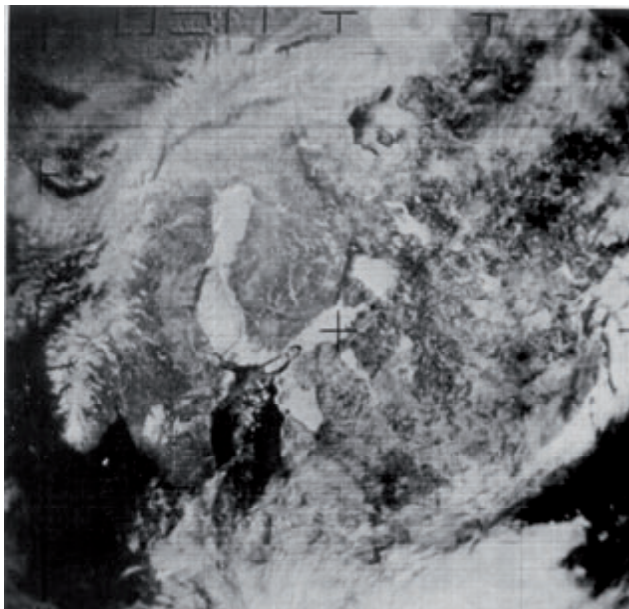
Teknillisen korkeakoulun (TKK) radiolaboratoriossa pyrimme 1970-luvulla edistämään tv-satelliittien käyttöä ohjelmien välitykseen. Onnistuimme suhteillamme järjestämään italialaisen koesatelliitin kautta koeyhteyden Englannista Otaniemeen. Ohjelmanauha oli silloin vielä lähetettävä postitse Englantiin. Kokeemme osoitti satelliittien mahdollisuudet. Valitettavasti lähetyksemme katkesi hetkeksi kun Englannissa oli vahingossa potkaistu videokaapeli irti. Nykyisin suoraan koteihin lähetettäviä satelliitti-tv-kanavia on yli sata.

Sääsatelliittien maapallon pinnasta jatkuvasti ottamat valo- ja infrapunakuvat ovat nykyisin olennainen apu sääennusteiden laatimisessa. Voi aikansa ennen kuin ne tulivat tehokkaaseen käyttöön. TKK:n radiolaboratoriossa 1960-luvun lopulla otimme innolla vastaan ensimmäisiä sääkuvia, kuva 24. Veimme ne Ilmatieteenlaitokselle tiedoksi uusista mahdollisuuksista. Sääennusteiden laatijat kuitenkin totesivat, että satelliittikuvista on vain haittaa heidän rutiinityölleen. Uskoimme, että kuvia tarvitaan ja kehitimme Radiolaboratoriossa

sääsatelliittien automaattisen vastaanottojärjestelmän, jossa ei ollut liikkuvia antenneja. Vaisala kehitti sen tuotteeksi, jota myytiin hyvällä menestyksellä muutama vuosi kunnes uusi sääsatelliittien sukupolvi tuli käyttöön.

Sääsatelliitit ovat osa ympäristönvalvontajärjestelmää. Maapallon pinnan ominaisuuksien havaitseminen lentokoneesta tai satelliitista on kaukokartoitusta. Useita kaukokartoitussatelliitteja on käytössä tai tutkimusvaiheessa. Ensimmäiset kaukokartoitussatelliitit tulivat taivaalle 1970-luvulla. Ne olivat passiivisia eli mittasivat maanpinnasta tulevaa

Kuva 24. TKK:n Radiolaboratorion maaliskuussa 1969 vastaanottama sääkuva



Talvella sääkuvasta saa tietoa myös jäätilanteesta. Selkämerellä on railo Ruotsin rannikolla. Suomen itäraja näkyy talvella tummana, sillä Suomen puolella metsät eivät ole tiheätä pöheikköä, joka peittää lumen. Radiolaboratoriossa kehitettiin automaattinen sääsatelliittien vastaanottojärjestelmä, josta myöhemmin tuli kaupallinen Vaisalan valmistamana. M.Tiuri 27.3.1969.

radiosäteilyä mikroaaltotaajuuksilla. Myöhemmin tulivat käyttöön myös aktiiviset, tutkaperiaatteella toimivat sivukulmatutkasatelliitit, joiden ottamien mikroaaltokuvien tarkkuus on ilmakuvauksen luokkaa.

TKK:n Radiolaboratoriossa tutkittiin heti passiivisten satelliittien tultua taivaalle mahdollisuuksia käyttää tietoja lumen paksuuden mittaamiseen. Tulokset olivat lupaavia ja samalla opittiin paljon uutta lumesta ja maanpinnan radiosäteilystä. Nykyisin Aalto-yliopiston radiotieteen ja tekniikan laitoksen avaruustekniikan laboratorio on maailman johtavia alan tutkimusyksiköitä. Toiminta vaatii resursseja kuten oman kaukokartoitustarkoitussmittauksiin sovitettun lentokoneen laitteiden kehitystutkimusta varten

Kaukokartoitusala on vielä osin tutkimusvaiheessa ja vaatii luonnontieteiden ja teknillisten tieteiden perustutkimusta ja soveltavaa tutkimusta. Kaukokartoitussatelliiteilla saadaan nykyisin selville maanpinnan kosteus, metsien puumäärä, tulenvoimakkuus merellä, aaltojen korkeus, meren suolapitoisuus, maanpinnan paikalliset pienet siirtymät, siirrosten ja tulivuorten maaperän lähialueen muutokset muutaman cm tarkkuudella (sivukulmatutkalla) ja laivojen ja junien nopeudet.

Muutamassa vuodessa on satelliittinavigointi tullut yleiseen käyttöön. GPS (Global Positioning Satellite) kehitettiin USA:ssa sotilaskäyttöön jo 1960-luvulla. Sen yleistymistä haittasi tahallinen epätarkkuutta aiheuttava häiriö, jolla haluttiin estää vihollisen hyötyminen järjestelmästä. Omissa laitteissa se voitiin korjata. Kuwaitin sodan aikana korjaus ei kuitenkaan ollut saatavissa kaikissa laitteissa, joten se oli pakko sodan ajaksi poistaa.

Häirintä poistettiin lopullisesti kun huomattiin, että vastaanotto-tekniikan kehityttyä ja halvennuttua satelliittinavigoinnista on suuri hyöty ihmisille jokapäiväisessä käytössä. USA:n lisäksi Venäjä ja EU ovat kehittäneet vastaavat navigointisatelliittijärjestelmät. Suomessa on jo päästy niin pitkälle, että liikenneministeriö kaavailee autoihin pakkonavigointia! Auton ajoreitin rekisteröinti olisi pohjana verotukselle, joka harvaan asutuilla seuduilla olisi alempi. Isoveli aikoo ryhtyä valvomaan! On kysymys tekniikan väärinkäytöstä!

GPS tarjoaa runsaasti mahdollisuuksia uusiin sovellutuksiin. Suomessa kehitetty sovellutus on Suunnon ”rannekello” golfin pelaajille. Se tallentaa pelaajan reitin kentällä myöhempää analyysiä varten. Monien alojen tutkimus hyödyntää satelliittiseurantaa. Muuttolintujen, karhujen tai ilvesten kulkumatkat selviävät kytkemällä kaulaan pieni GPS-vastaanotin ja lähetin, joka lähettää tiedot seurantasatelliittiin.

Avaruustutkimus ja -tekniikka, joita Suomessa pitkään pidettiin kerskatutkimuksena, on tuottanut runsaasti sovellutuksia, joita nyt pidetään välttämättöminä. Sama tulee koskemaan nykyisiä uusia tutkimusaloja. Niiden kansainvälisen tason tutkimuksessa on oltava mukana, jotta voitaisiin heti hyödyntää tuloksia. Nanotiede- ja tekniikka, geenitiede ja -tekniikka sekä elektroniikka ja radiotekniikka luovat pohjaa tulevaisuuden sovellutuksille.

Radiotekniikka ja elektroniikka avainasemassa tieteen ja tekniikan kehittämisessä

Radiotekniikka ja elektroniikka ovat koko 1900-luvun olleet tieteen ja tekniikan vatureina ja tulevat edelleen olemaan 2000-luvulla. Ne ovat ratkaisevasti edistäneet tieteellistä tutkimusta ja valtaosa viime vuosina yleisesti käyttöön tulleista uusista tuotteista perustuu niihin. Tietoliikenne, televisio, tietokoneet, matkapuhelimet, navigaattorit, teollisuuden automaatio, terveydenhuollon diagnostiikkalaitteet ja niin edelleen ovat radiotekniikan ja elektroniikan sovellutuksia. Radioastronomia on avannut uuden ikkunan maailmankaikkeuteen. Elektronimikroskopia ja tunnelimikroskopia ovat vastaavasti tuoneet näkyviin pienoismaailman.

Radiotieteen ja -tekniikan historia antaa hyvän kuvan siitä, miten tieteen ja tekniikan eteneminen tapahtuu. Radiotekniikka on ensimmäinen tekniikan ala, jonka teoreettinen perusta on luotu ennen kuin käytännön sovellutukset tulivat mahdollisiksi. Teollinen vallankumous

sen sijaan on useimmiten perustunut tekniikan kokeellisiin parannuksiin kuten höyrykoneessa, ja teoria on kehitetty vasta myöhemmin kun on pyritty mahdollisimman hyvään tulokseen.

James Clerk Maxwell esitti 1864 sähkömagneettisen säteilyn teorian. Heinrich Hertz osoitti kokeellisesti radioaaltojen olemassaolon 1886. Guglielmo Marconi ryhtyi soveltamaan radioaaltoja tiedonvälitykseen 1895. Näin alkoi radiotekniikan kehitys, joka jatkui ja jatkuu lukemattomin sovellutuksin, kuva 25.

Marconi sai syyskuussa 1895 yhteyden 2,5 km etäisyydelle ja joulukuussa 1901 yhteyden Atlantin yli. Marconin onni oli, ettei hän tuntenut riittävästi fysiikkaa. Maapallon kaarevuuden piti estää suoraan etenevien radioaaltojen havaitsemisen Atlantin takana. Ei tiedetty, että

Kuva 25. Radiotieteen ja -tekniikan kehitys

1864 MAXWELLIN TEORIA

1888 HERTZIN LABORATORIOKOKKEET

1895 MARCONIN YHTEYSKOKKEILUT

1900> PITKÄT AALLOT (aallonpituus > 1 km)

Yhteydet laivoihin ja meren yli

1920> KESKIPITKÄT JA LYHYET AALLOT (1 km–10 m)

Yleisradiotoiminta, Lyhytaaltoyhteydet

1930> METRIAALLOT (10 m–50 cm)

Ula-yleisradio, Navigointijärjestelmät, Radiosondi, Suurtaajuuskuumentimet (1940–), Radioastronomia (1940–), Televisio (1945–), RFID (Radiotaajuustunnistus (1990–))

1940> MIKROAALLOT (50 cm–3 cm)

Tutkat, Mikroaaltouuni, Avaruuden molekyylipilvet (1950–), Radiolinkit (1950–), Satelliittiyhteydet (1960–), Avaruuden taustasäteily (1965–), Sääsatelliitit (1970–), Magneettikuvaus (1970–), SETI (sivilisaatioiden etsiminen 1970–), (Matkapuhelin (1980–), GPS (satelliittinavigointi 1980–))

1970> MILLIMETRIAALLOT (30 mm–1 mm)

Kaukokartoitus, Lyhyet radioyhteydet (2000–), Autotutkat (2000–)

1990> ALIMILLIMETRIAALLOT (<1 mm)

Terahertsikuvaus, lyhyet laajakaistayhteydet, ?, ?

Maxwell osoitti teoreettisesti radioaaltojen olemassaolon. Hertz todisti sen kokeellisesti ja Marconi ryhtyi kehittämään käytännön sovellutuksia. Ennen sovellutuksia on kutakin aaltoaluetta varten pitänyt kehittää teknillis-tieteellisellä tutkimuksella signaalilähteitä, vahvistimia, ilmaisimia, antenneja ja piiritekniikkaa sekä tutkia aaltojen etenemistä. M. Tiuri 2010.

100 km korkeudella ionosfääri heijastaa pitkät radioaallot takaisin maan pinnalle. Marconin kanssa samoihin aikoihin myös venäläinen fyysikko Popov ryhtyi kehittämään radioyhteyksiä. Maaliskuussa 1896 hän sai laitteillaan 250 m pituisen yhteyden. Kotkan ja Suursaaren 40 km pituisen yhteys onnistui 1900.

Radiotieteen ja tekniikan eteneminen on edellyttänyt teknillistieteellistä tutkimusta signaalilähteiden, vahvistimien, piiriteorian ja tekniikan, antennien ja ilmaisimien kehittämiseksi kullekin aaltoalueelle. Vasta sen jälkeen ovat sovellutukset mahdollisia. Sovellutuksia varten tarvitaan myös radioaaltojen etenemistutkimuksia.

Radioastronomia on ollut kannustimena uusien radiolaitteiden ja menetelmien kehittämisessä. Aalto-yliopiston Metsähovin radiotutkimusasema on siitä esimerkki. Tieteellisen tutkimuksen merkitystä tekniikan edistäjänä ei aina ymmärretä. Jotkut TKK:n professorit ihmettelivät mitä hyötyä on tutkia mahdollisimman pieniä kohteita lähellä (Kylmälaboratorio) tai suuria kohteita kaukana (Metsähovin radioastronomia).

Marconilla oli etulyöntiasema kehitystyönsä taloudelliseen hyödyntämiseen ja hän loi menestyvän yrityksen, joka toimi 2000-luvulle asti. Vastaava tilanne on toistunut matkapuhelimen suhteen. Maailman ensimmäinen matkapuhelinjärjestelmä NMT (Nordic Mobile Telephone) kehitettiin Pohjoismaiden telelaitoksissa yhteistyönä. Se antoi Nokialle ja Ericssonille etulyöntiaseman. Suomessa tuotettiin alkuaikoina valtaosa maailman matkapuhelimista. Nokian ansiosta matkapuhelimista tuli hieman yli kymmenessä vuodessa massakulutustuote kehityssaassakin. Pääosa matkapuhelimien tuotannosta on vähitellen siirtynyt sinne missä ovat markkinat ja riittävästi osaamista.

Radiotekniikka on edennyt tiiviissä yhteistyössä elektroniikan kanssa. Elektroniikka alkoi kun Fleming keksi ensimmäisen elektroniputken, diodin 1904 ja De Forest 1907 elektroniputken, triodin, jolla voitiin vahvistaa heikkoja signaaleja ja synnyttää radioaaltoja. Elektroniputket kehittyivät ja antoivat mahdollisuuden käyttää elektroniikkaa mitä moninaisimmissa sovellutuksissa.

Seuraava vaihe oli transistorien keksiminen 1947 ja puolijohdetekniikan kehittyminen. Integroidut piirit tulivat 1960-luvulla. Niissä yhdelle piisirulle voitiin yhdistää suuri määrä transistoreita ja toimintoja. Vuonna 2010 yhdelle parin millimetrin puolijohdesirulle saadaan mahtumaan jo miljardi komponenttia.

Uusi nanotekniikka on mullistamassa elektroniikan ja radiotekniikan. Nanotekniikan vuoksi ne ovat nopeassa kehitysvaiheessa ja tarjoavat uusia sovellusmahdollisuuksia. Elektroniikkaa ja radiotekniikkaa tarvitaan nykyisin lähes kaikkialla, tietoliikenteestä ja tietokoneista koneiden ohjaukseen, autoihin ja kodinkoneisiin. Kaikilla teollisuuden aloilla elektroniikka on yhä tärkeämpi osa tuotetta.

Nanotiede ja nanotekniikka mullistavat useita tekniikan aloja

Nanotiede ja nanotekniikka tutkivat ja hyödyntävät materiaalirakenteita, jotka ovat 100 nanometriä pienempiä. Nanometri on miljardiosa metristä eli millimetrin miljoonasosa. Tyypillisiä nanorakenteita ovat molekyylit. Metallioksidien nanohiukkasia on jo pitkään käytetty prosesseja kiihdyttävänä katalysaattoreina teollisuudessa. Niitä tarvitaan myös typpioksidipäästöjen poistamiseen autojen katalysaattoreissa. Nanorakenteet ovat yleisiä myös pinnoitteissa.

Nyt nanohiukkasia pyritään tuottamaan ja soveltamaan hallitusti. Materiaalien ominaisuudet muuttuvat merkittäväksi kun siirrytään nanokokoon. Eristeestä voi tulla johde, väri, sulamislämpötila ja rakenne voivat muuttua. Nanotiede ja nanotekniikka tulevat lähivuosina mullistamaan useita tekniikan aloja. Nanotekniikka on olennainen apu tiellä kestävään tekniikkaan.

Ensimmäinen nanomateriaali oli 1985 keksitty fullereeni, palomainen hiilmolekyyli. Keksijäprofessorit Kroto, Smalley ja Curl saivat Nobel-palkinnon 1996. Yleisin fulleriini on 60 hiiliatomin pallo.

Fullereeneja syntyy nokihiukkasten ohella hiilivetyjen epätäydellisessä palamisessa. Seuraavaksi 1991 Japanin NEC-yrityksen perustutkimuslaboratoriossa professori Iijima keksi hiilinanoputken. Sen toinen pää on avoin ja toinen pyöreä. Alkoi vilkas tutkimustoiminta hiilinanoputkien valmistustekniikan kehittämiseksi ja sovellusten hakemiseksi. Pienimmän nanoputkien halkaisija on 0,4 nanometriä, mutta pituus voi olla 1000 nanometriä jopa useita senttimetrejä. Yksittäiset nanoputket ovat kymmeniä kertoja terästä vahvempia, hyvin taipuisia ja hyvin sähköä ja lämpöä johtavia.

Grafeenin, toisiinsa sitoutuneiden hiiliatomien yksikerroksisen levyn valmistus ja siirtäminen piikiekolle onnistui teipin avulla Manchesterin yliopistossa 2004. Periaatteessa hiilinanoputki on rullalle kierretty grafeenilevy. Grafeeni on erittäin lupaava nanotransistorisovellutuksiin. Grafeeni antoi uuden sysäyksen nanotekniikkaan.

Uusin nanohiilimolekyyli on Aalto-yliopiston Micronovan nanomateriaalien tutkimusryhmän 2007 keksimä hiilen nanonuppu. Siinä on nanoputken ulkoseinään kiinnittynyt fullereeni. Komposiittimateriaalit ovat mahdollinen sovellutus. Myös elektroniikassa on mahdollisuuksia.

Lupaavia nanomateriaalit ovat nykyistä tehokkaampien akkujen, polttokennojen ja aurinkoparien sekä entistä kestävämpien komposiittimateriaalien kehittämisessä. Mittausanturit ovat yleinen uuden tekniikan soveltamisala. Teollisuuden prosesseissa nanotekniikalla tulee olemaan merkittävä osa. Nanosellu on uusi teollisuuden raaka-aine.

Pinnoitteissa itsestään puhdistuvat likaa hylkivät ikkunalasit ovat esimerkki. Toinen on suksien luiston parantaminen nanopinnoituksella. Vaatteet pysyisivät nanotekniikan avulla puhtaampina ja voisivat tappaa bakteereja.

Lääketieteessä lääkkeiden annostusta voidaan nanotekniikan avulla ohjata kudoksiin hallitusti. Lääkemolekyyli varustetaan ”kahvalla”, jolla se tarttuu haluttuun soluun.

Suurin vaikutus nanotekniikalla tulee olemaan elektroniikassa ja radiotekniikassa. Nanomateriaalit, joilla on nykyisiä parempi sähkön ja lämmönjohtokyky mullistavat elektroniikkapiirit ja radiotekniikan

sovellutukset. Elektroniikan rakenneosat tulevat pienenemään ratkaisevasti. Se näkyy tulevissa kännyköissä ja tietokoneissa. Muistipiirien suorituskyvyn kehityksen noudattama Mooren laki eli piisirulle mah-
tuvien transistorien määrä kaksinkertaistuminen joka toinen vuosi
voi jatkua kauan, vaikka jo alkoi näyttää siltä, että raja oli saavutettu.
Radiotekniikassa voidaan nanotekniikan avulla jatkaa uusien taajuus-
alueiden tutkimusta ja lähentyä optiikan aluetta. Infrapuna-antennit
ovat mahdollisia.

Suomessa nanotekniikan perustutkimusta tehdään Aalto-yli-
opiston TKK:n Micronovassa. Jyväskylän yliopiston NanoScience
Centerissä, Tampereen teknillisen yliopiston Optoelektroniikan tut-
kimuskeskuksessa sekä Oulun yliopiston mikro- ja nanoteknologian
keskuksessa. VTT on mukana Aalto-yliopiston Micronovassa. Tekesin
ja Suomen Akatemian FinNano-ohjelma antaa varoja perustutkimuk-
seen ja yritysten tuotekehityshankkeisiin. Nokialla ja UPM Kymme-
nellä on omat nanotekniikan tutkimushankkeensa. Suomessa toimii
jo yli sata nanotekniikkaa soveltavaa yritystä. Monet uudet yritykset
ovat yhteistyössä alan tutkimuksen kanssa.

Julkinen tuki (Suomen Akatemia, Tekes) nousi 2007 yli 60 mil-
joonan euron. Aalto-yliopisto on investoinut Micronovaan useita
miljoonia euroja. Micronova on Sähkötekniikan korkeakoulun ja
Perusinsinööritieteiden korkeakoulun yhteinen. Nanotekniikan kai-
kille tekniikan aloille ulottuvan vaikutuksen vuoksi on välttämätöntä,
että tekniikan yliopistojen jokaisen tekniikan alan kaikilla laitoksilla
on mahdollisuudet alan perustutkimukseen. Se edellyttää nykyistä
suurempaa säännöllistä perustutkimuksen rahoitusta.

Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta, jonka tehtäviin kuuluu tek-
nologian yhteiskunnallisten vaikutusten arviointi, on laatinut raportin
Nanohiilen tulevaisuuden mahdollisuudet ja merkitys Suomelle (Tule-
vaisuusvaliokunnan julkaisu 2/2010). Raportissa tarkastellaan nan-
ohiilirakenteita, mahdollisia sovellutuksia ja liiketoimintanäkymiä.
Valiokunta esittää, että nanohiilisovellutuksista on tehtävä Suomelle
kansallinen vahvuusalue 2030 mennessä tutkimuksen, koulutuksen
ja yritysten tuotekehitystoiminnalla. Alan korkeatasoista tutkimusta

ja koulutusta tulee vahvistaa erityisesti nanotekniikkaan jo panostaneissa yliopistoissa. Koska nanotekniikan sovellutukset ulottuvat lähes kaikille toimialoille, tulisi Tekesin järjestää eri toimijoiden ”pyöreän pöydän keskusteluja”.

Geenitiede ja geenitekniikka muuttavat maailman tulevina vuosikymmeninä

Nanosovellutukset vaikuttavat maailman kehitykseen monin tavoin, mutta tulevaisuudessa vielä suurempi vaikutus on geenitieteellä ja geenitekniikalla. Geenitekniikalla on jo sovellutuksia dna-testeissä, tautien diagnostiikassa, lääkkeiden kehittämisessä sekä kasvien ja eläinten jalostuksessa.

Geenitekniikan ensimmäisiä sovellutuksia on ollut kasvinjalostus. Se korvaa perinteisen kasvinjalostuksen, joka on hidas ja sattumanvarainen. Perinteinen jalostus on perustunut parhaiden kasviyksilöiden valintoihin, risteytyskokeisiin haluttuja ominaisuuksia omaavien yksilöiden kanssa, koeviljelyyn, uudelleen valintaan, seuraavan kasvisukupolven jalostamiseen entistä satoisampien ja kestävämpien lajien tuottamiseksi. Toiminta sai alkunsa 10 000 vuotta sitten, kun maanviljely alkoi. Perinteisellä jalostuksella on saatu ihmiskunnan kannalta tärkeitä ravintokasveja kuten maissi, peruna, vehnä ja riisi.

Perinteinen jalostus muuttui tieteellisemmäksi sata vuotta sitten, kun siihen alettiin soveltaa perinnöllisyystiedettä. Perinnöllisyysääntöjä ruvettiin soveltamaan ja mutaatioita alettiin tuottaa röntgensäteilyn ja radioaktiivisen säteilyn avulla. Toisen maailmansodan jälkeen Suomesta ruvettiin toimittamaan siemeniä säteilytettäväksi Neuvostoliittoon. Siementen viljely ja jatkojalostus osoittivat oliko saatu hyödyllisiä muunnoksia.

Geenitekniikan etu on, että päästään haluttuun tulokseen suoraan ja paljon vanhoja keinoja nopeammin. Ratkaiseva apu kasvien geenien

toiminnan ymmärtämisessä on ollut lituruohon genomien emäsjärjestyksen selvittäminen vuonna 2000. Lituruoholla on saman verran geenejä kuin ihmiselläkin, noin 29 000. Monet sen geeniryhmät ovat ominaisia vain kasveille, mutta mukana on muun muassa bakteereille ominaisia geenejä. Kasvigeenien tutkimus jatkuu. Näyttää siltä, että kasvikunta on geneettisesti melko homogeeninen. Kasvien erilaisuus perustuu geenien ilmentymiseen.

Muuntogeenisten kasvien laaja viljely on alkanut USA:ssa vuonna 1996. Euroopassa on oltu varovaisia ja pelätty mahdollista haittavai-
kutuksia. Suuri osa viljelyyn hyväksytyistä kasveista on rikkaruohojen torjunta-aineita kestäviä tai tuhohyönteisiä kestäviä. Tulevaisuudessa tullaan kehittämään kylmyyttä kestäviä, kuivuutta kestäviä, satoisampia, ravitsevampia ravintokasveja, maukkaampia ravintokasveja ja niin edelleen. Geenimuunnellut kasvit tarvitsevat vähemmän viljelyalaa ja vähemmän lannoitteita, joten kasvihuonekaasupäästöt ovat pienemmät. Niiden avulla voidaan tyydyttää kasvavan ihmiskunnan ravinnontarve. Myös eläinten jalostus geenitekniikkaa soveltaen kehittyy tieteelliseltä pohjalta.

Ihmisen terveyden ja lääketieteen alueelta on tulossa kasvava määrä sovellutuksia. Perustutkimus on tuottanut runsaasti uutta tietoa. Havaintojen hyödyntäminen lääketieteessä edellyttää translationaalista tutkimusta. Ihmisen koko genomien selvittämiseen kuluva aika on geenitekniikan kehittyessä lyhentynyt nopeasti. Se vei kymmenen vuotta 2001, neljä päivää 2008, 2009 neljä tuntia ja 2010 enää 14 minuuttia. Hinta on vastaavasti pudonnut yli 200 miljoonasta eurosta alle 10 000 euroon. Nyt tunnetaan jo runsaasti geenivirheitä, jotka aiheuttavat perinnöllisiä tauteja muun muassa Suomessa.

Eduskunnan Tulevaisuusvaliokunnan raportin *Löytöretkiä biopolitiikkaan* mukaan Suomessa on hyvät edellytykset geenitekniikan tutkimukselle ja lääketieteellisille sovellutuksille. Suomalaisten geenipankki on ainutlaatuinen, sillä väestö on homogeenista moniin muihin maihin verrattua.

DNA-analyysistä on tullut rutiinimenetelmä selvitetessä rikoksia, koska DNA-näytteen saamiseen riittää pätkä hiusta tai veritahra.

DNA-analyysi on myös tehokas keino historian tutkimuksessa. Tutkimalla eri osissa Suomea asuvien ihmisten DNA-näytteitä saadaan selville keskinäisiä yhteyksiä ja kuinka paljon suomalaiset ovat olleet tekemisissä naapurikansojen kanssa menneisyydessä. DNA on hyödyksi arkeologiassakin. On selvinnyt, että Neandertal-ihmisellä ja nykyihmisellä on yhteisiä geenejä, joten nykyihminen on risteytynyt Neandertal-ihmisen kanssa.

Geenitiede on myös muuttamassa käsitystä kehitysupista. Luonnollisen valinnan perusoppi on ollut, etteivät hankitut ominaisuudet periydy. Nyt on huomattu, että perimään kuuluu suuri joukko geenejä, jotka normaalisti eivät toimi. Uusissa ympäristöolosuhteissa ne voivat tulla käyttöön ja käyttöominaisuus periytyy myös jälkeläisille. Hankitut ominaisuudet siis näyttäisivät periytyvän. Todellisuudessa geenit ovat perimässä olemassa, mutta odottavat käyttötarvetta.

Tulevaisuudessa geenitiede ja geeniteknikka mullistavat ihmiskunnan elämänolosuhteet. Ravintokasvien tuotanto tehostuu, kun fotosynteesin hyötysuhde paranee geeniteknikan avulla. Peltolaan ja apulannoitteiden tarve vähenee ratkaisevasti.

6.

Suomen tie kestäväään tulevaisuuteen

Suomi muuttui vauhdilla tietoyhteiskunnaksi

Suomesta on tullut tietoyhteiskunta vasta 1980-luvulla. Silloin insinöörien määrä ylitti maitotilojen määrän, kuva 26. Vielä 1950-luvulla Suomi oli maatalousyhteiskunta, sillä yli puolet väestöstä sai toimeentulonsa maataloudesta. Muutos maatalousyhteiskunnasta tietoyhteiskunnaksi muutamassa kymmenessä vuodessa on ollut useimpia muita maita nopeampi.

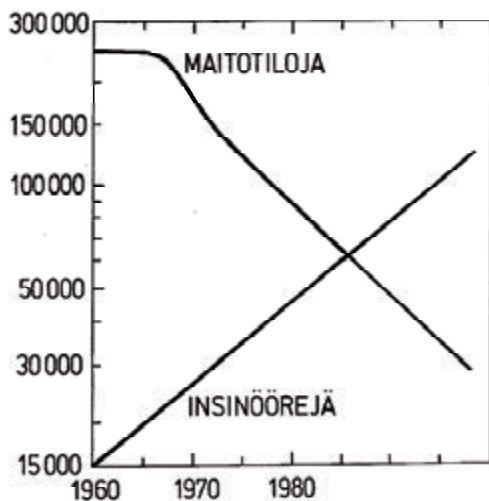
Tietoyhteiskuntakehitys, uuden tiedon tuottaminen ja osaajien koulutus pääsivät vauhtiin, kun 1983 perustettiin Tekniikan edistämiskeskus Tekes, ja yliopistojen perustutkimusmäärärahoja lisättiin yliopistolakiin perustuen vuosittain 10 %. Tekniikan ja luonnontieteiden yliopistojen uusien opiskelijoiden sisäänottoa alettiin lisätä. Tekes tuki merkittävästi tekniikan yliopistojen tutkimustyötä ja teknologisen osaamisen kehittymistä yrityksissä. Yritysten tuotekehitys sai tukea.

Suomen tietoyhteiskuntakehitys kiihtyi 1980- ja 1990-luvuilla, kun sähkö- ja elektroniikkateollisuus nousivat valta-asemaan. Ratkaisevan sysäyksen siihen antoi matkapuhelinteollisuus eli Nokia ali-

hankkijoihin. Matkapuhelimien kysyntä yllätti asiantuntijat. Itse arvelin silloin, että Suomessa ehkä käyttäjiä tulisi olemaan 50 000. Nyt matkapuhelimia on Suomessa enemmän kuin asukkaita, yli seitsemän miljoonaa! Suomessa valmistettiin alkuaikoina valtaosa maailman matkapuhelimista.

Uutta tietoa ja osaamista käytettiin hyväksi. Esimerkiksi Nokian nousu 1990-luvulla perustui Nokian Jorma Ollilan mukaan huipputaustaan radiotekniikassa. Vuoteen 1991 mennessä tutkimus ja tuotekehitysinvestointien osuus kansantuotteesta kaksinkertaistui kahden prosentin. Se nousi kolmeen prosenttiin 1998 ja 3,5 prosenttiin 2004. Vain Ruotsi ja Israel olivat Suomen edellä. Valtion osuus siitä kasvoi hieman lähinnä Tekesin lisärahoituksen ansiosta.

Kuva 26. Maitotilojen ja insinöörikunnan (DI+Ins.) määrän kehitys Suomessa 1960–2000



Suomesta tuli tietoyhteiskunta 1987 kun insinöörit ohittivat maitotilat! Logaritmis-kaalalla kehityskäyrät ovat suoria. M.Tiuri 1998.

Elektroniikka- ja radioinsinöörien koulutusmäärät kasvoivat 1980- ja 1990-luvuilla moninkertaisiksi. Professorien tarve korkeakouluissa kasvoi vastaavasti. Kun aikoinaan sodan jälkeen tulin opiskelemaan TKK:hon sähköalan professoreita oli kuusi. Tultuani nimitetyksi radiotekniikan professoriksi 1962 esitin elektroniikkaan ja tietoliikennetekniikkaan lisää professoreita, koska näin Suomen mahdollisuudet radio- ja elektroniikka-alalla.

Radiolaboratorion tutkimustoiminnalla loin uutta tietoa ja edellytyksiä uusille erikoisaloille. Laboratorion henkilökunta kasvoi vuoden 1962 neljästä yli kuuteenkymmeneen vuoteen 1983 mennessä. Toimin radiolaboratoriossa professorina 21 vuotta ennen siirtymistäni kansanedustajaksi. Sinä aikana radiolaboratoriossa työskennelleistä on 33 nimitetty professoreiksi TKK:hon sekä muihin yliopistoihin ja tutkimuslaitoksiin. Nykyisin sähkötekniikan professoreita TKK:ssa on yli 30.

Suomen elektroniikkateollisuus valmistaa pääosin osaamista vaativia erikoistuotteita, joita tarvitaan esimerkiksi teollisuudessa, ympäristötekniikassa ja lääketieteessä. Vaisalan säähavaintolaitteet, VTI:n kiihtyvyyssanturit, ABB:n ja Vaconin taajuusmuuttajat ja monien pienempien yritysten tuotteet edustavat aloillaan johtavaa osaa maailman markkinoista. Kun ne eivät ole kulutustuotteita, suuri yleisö, poliitikot ja ekonomistit eivät niistä tiedä. Elektroniikka ymmärretään lähinnä erilaisiksi viihdealan kulutustuotteiksi.

Nokialla on Suomessa edelleen yli 10 000 työntekijää, suurin osa tutkimus- ja tuotekehitystehtävissä. Työntekijöistä valtaosa on insinöörikuntaa (tohtoreita, diplomi-insinöörejä ja AMK-insinöörejä). Nokia saa merkittävän osan liikevaihdostaan osaamisestaan, vaikka kännyköiden vienti tilastoissa on pudonnut.

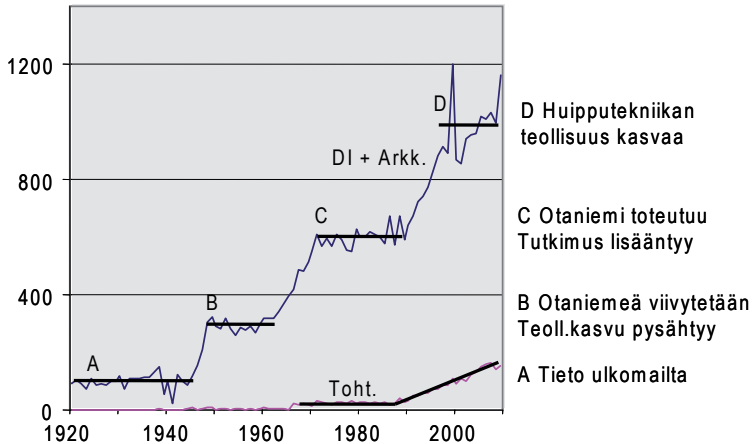
Historia uhkaa toistaa itseään

Vientiteollisuuden ratkaiseva merkitys työllisyyden ja hyvinvointiyhteiskunnan kannalta (luvun 1 kuva 3) näyttää 2000-luvulla unohduneen päättäjiltä, sillä kilpailukyvyn perusteista ei ole huolehdittu. On oltu tyytyväisiä 1990-luvun menestykseen. Historia uhkaa toistaa itseään.

Sodan jälkeen Suomessa jouduttiin kehittämään uutta teollisuutta sotakorvausten maksamiseksi. Diplomi-insinööritutkintojen määrä nostettiin kolminkertaiseksi. Kun sotakorvauksista oli selvitty 1950-luvun alkupuolella, oltiin tyytyväisiä saavutukseen, eikä teollisuuden edelleen kehittämisestä huolehdittu. DI-tutkintojen määrä pysyi vakiona yli 15 vuotta kunnes se nousi yli kaksinkertaiseksi 1970 alkaen, kuva 27.

Kuva 27. Tutkintojen määrä TKK:ssa 1920–2009

Tutkintoja TKK:ssa vuosittain



Sotakorvaukset 1945–1953 pakottivat kehittämään uutta teollisuutta ja DI-tutkintojen määrä kolminkertaistui. Teollisuuden kehittämistä ei 1950-luvulla jatkettu ja tutkintojen määrä pysyi vakiona lähes 1970 asti. Työtä saadakseen suomalaisten oli muutettava Ruotsiin. 2010-luvulla työttömyys uhkaa kasvaa kun osaamisen kehittämisestä ei ole huolehdittu. Suuri vaihtelu tutkinnoissa 2000-luvulla johtuu TKK:n toimintaresurssien epävarmuudesta. M. Tiuri 11.10.2010.

1950- ja 1960-luvun laiminlyönnit kuten insinöörikunnan koulutuksen laajentamiseen ja tutkimuksen kehittämiseen tähtäävän Otaniemi-suunnitelman viivyttäminen, johtivat suuriin vaikeuksiin. Suomeen ei syntynyt riittävästi uusia teollisuuden työpaikkoja. Yli 250 000 suomalaista joutui 1960-luvulla ja 1970-luvun alussa muuttamaan töihin ulkomaille pääosin Ruotsin teollisuuteen. Otaniemi toteutui vasta 1970-luvulla.

1980-luvulla panostukset perus- ja soveltavaan tutkimukseen ja tuotekehitykseen sekä Tekesin perustaminen loivat edellytykset elektroniikka- ja sähköteollisuuden voimakkaaseen nousuun 1990-luvulla. Suomesta tuli huipputekniikan maa. Suomi selvisi maailmaa 1990-luvulla kohdanneesta lamasta. Mutta 2000-luvulla on tyydytty saavutettuun menestykseen eikä ole huolehdittu sen jatkumisesta. Samaan aikaan kilpailijamaat ovat jatkaneet etenemistään ja kehitysmaatkin ovat parantaneet osaamistaan. Teollisuuden kehittämisen kannalta nykytilanne muistuttaa 1950- ja 1960-lukua.

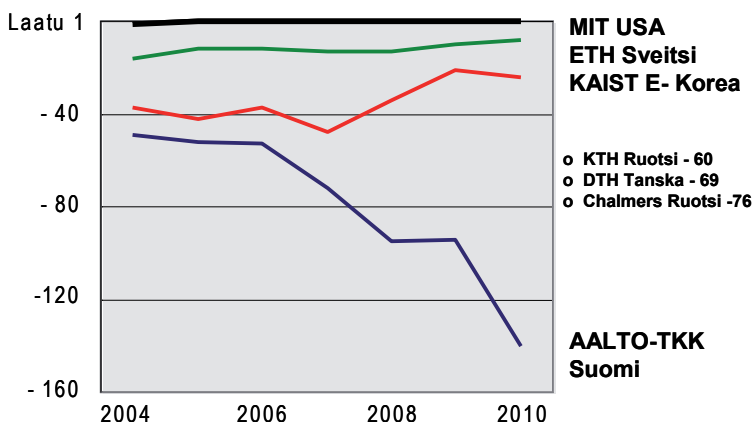
Työttömyys ja ulkomaan velka uhkaavat kasvaa eikä hyvinvointia pystytä turvaamaan. Nyt Suomen innovaatiojärjestelmän heikoin kohta on tekniikan ja luonnontieteiden yliopistojen resurssien jälkeenjääneisyys. Tutkintojen määrä on lähes kaksinkertaistunut, mutta toimintaresurssit pysyneet entisellään. TKK on 2000-luvulla pudonnut sata sijaa maailman parhaiden tekniikan alan yliopistojen listalla sijalle 140. TKK:n budjetin toimintavarat opiskelijaa kohti ovat enää puolet Ruotsin ja Tanskan tekniikan yliopistojen varoista ja alle neljäsosa Sveitsin tekniikan yliopistojen varoista, kuva 28.

Kansainvälisessä tekniikan yliopistojen laatuvertailussa Kiinan, Intian ja Etelä-Korean tekniikan yliopistoista jo 19 on TKK:n edellä. Maailman paras tekniikan yliopisto on USA:n MIT (Massachusetts Institute of Technology). Pienten maiden tekniikan yliopistoista paras on Zürichin teknillinen korkeakoulu ETH sijalla 8. ETH ottaa uusia opiskelijoita suunnilleen saman verran kuin TKK, mutta ETH:sta valmistui lähes viisinkertaisen opettajamäärän ansiosta diplomi-insinöörejä 30 % enemmän ja tohtoreita yli kolminkertainen määrä. ETH:n toimintavarat valtion budjetista 2008 olivat viisinkertaiset

(675 miljoonaa euroa). ETH:n tutkimus tuotti 64 patenttihakemusta vuonna 2008 ja uusia yrityksiä syntyi 23.

Suomen on otettava mallia ETH:sta. Voidaan likimäärin olettaa, että tohtorin tutkinto maksaa kaksi kertaa niin paljon kuin diplomi-insinöörin tutkinto. Siten vuonna 2008 diplomi-insinööritutkinnon hinta TKK:ssa oli 100 000 euroa ja ETH:ssa 270 000 euroa. Sveitsin BKT asukasta kohti on 30 % suurempi kuin Suomen.

Kuva 28. Eräiden yliopistojen sijainti maailman laatulistalla teknillisissä tieteissä



TKK:n budjetin toimintamenot ovat viidesosa ETH:n ja noin puolet muiden Pohjoismaiden tekniikan yliopistojen toimintavaroista koko aikaopiskelijaa kohti. M. Tiuri 21.9.2010. Ref. QS Quacquarelli Symonds: *QS World University Rankings 2010- Technology*.

Suomen haasteet globaalin tietoyhteiskunnan edetessä

Suomen menestyminen, työllisyys ja hyvinvointi ovat viennin ja tuonin varassa (luvun 1 kuva 3). Suomen vienti on pääosin ulkomaisille yrityksille tai laitoksille myytäviä erityisosaamista edustavia investointituotteita, (esim. paperikone, säätutka), välituotteita (ruostumaton teräs) tai raaka-aineita (puutavara). Kulutustuotteiden vientiin pienellä maalla ei ole edellytyksiä suuren kuljetustarpeen ja kotimarkkinoiden pienuuden vuoksi. Huomionarvoisia poikkeuksia ovat verkossa kulkevat tietokonepelit. Tulevaisuudessa Pietari voi laajentaa ”kotimarkkinoita”.

Globaalissa tietoyhteiskunnassa lama leviää yllättäen ja nopeasti kuten 1990-luvun ja 2008–2009 lama ovat osoittaneet. Viennin rakenteesta johtuen maailmanlaajuinen lama vaikuttaa Suomen talouteen voimakkaammin kuin suuremmissa maissa. Haasteena on viennin monipuolistaminen laman vaikutusten hillitsemiseksi.

Suomen vientiteollisuus on yhä enemmän suuntautunut tuotekehitykseen ja erikoist tuotteisiin. Se asettaa entistä suurempia vaatimuksia suomalaisten yritysten osaamiselle sekä yliopistoille uuden tiedon tuottamisessa ja osaajien kouluttamisessa. Se on sitäkin haasteellisempaa kun Suomen teollisuuden pääosaamisalueilla tekniikan kehitys on lähivuosina erityisen nopeata.

Tietoyhteiskunnan kehitys nojaa innovaatioihin, jotka tähtäävät uuteen, entistä parempaan tekniikkaan, tuotteeseen, markkinoinnin tai myynnin toteuttamiseen, johtamiseen, organisointiin ja palveluun. Suomessa on aivan oikein painotettu hyvin toimivaa innovaatiojärjestelmää avaintekijänä maan menestymiselle. Siihen kuuluu suunnitelmallinen uusien ideoiden ja tiedon tuottaminen, kehittäminen ja soveltaminen käytäntöön sekä tuotteistaminen ja kaupallistaminen, kuva 29.

Koulutusjärjestelmä osaajien tuottajana on tärkeä osa järjestelmää. Innovaatiosta on puhuttu niin runsaasti, että on käsite on saanut negatiivisen sävyn ”sivistys”yliopistoissa. Ne pitävät innovaatioita yliopistoille vieraana ajatteluna.

Suomen vientiä tukemaan tarvitaan huippuosaamiseen perustuvia innovaatioita. Innovaation käsitettä selventävät esimerkit, kuva 30. Elektroniikassa nanotekniikka ja uudet radiotaajuusalueet mullistavat käytössä olevaa tekniikkaa ja avaavat uusia mahdollisuuksia teknologian edistyessä.

Tulevaisuuden innovaatio on esimerkiksi Aalto-yliopiston Micronovan perustutkimusryhmän nanonuppukeksintöön perustuva matkapuhelimiin ja vastaaviin soveltuva hipaisunäyttö. Perustutkimuksen sovellutuksena on kehitetty lasilevyille tai taipuisalle muovilevyille painettu nanonuppukalvo, jonka valmistus on halpaa verrattuna nyt käytössä olevaan indium-tinaoksidikalvotekniikkaan.

Tuotteistamista varten on perustettu Canatu-yritys Helsinkiin entisiin Elcotecin tiloihin. Se pystyy valmistamaan suuriakin näyttöjä aina A2-kokoon asti. Näyttö sopii siten hyvin myös tietokoneisiin ja sähkökirjan lukulaitteisiin. Kaupalliseen tuotantoon tähdätään 2012. Potentiaaliset maailman markkinat ovat 100 miljardin euron suuruusluokkaa. Nanonäyttö on innovaatioketjun puolivälissä. Innovaation etenemisessä on ratkaisevaa ollut taloudellinen tuki Suomen Akatemialta, Sitralta ja Tekesiltä. Tulevan kasvuyrityksen on nyt hankittava toimintavaroja vuoteen 2012 asti, jolloin hankkeen onnistuessa kasvuvirtaa alkaa syntyä.

Kuva 29. Huippuosaamisen innovaatioketju

YLIOPISTOT YM.		VTT YM.	YRITYKSET	
PERUSTUTK. FYSIKKA KEMIA BIOTIETEET	PERUSTUTK. TEKNILLISET TIETEET LÄÄKETIEDE	SOVELTAVA TUTKIMUS	TUOTEKEHIT. LÄÄKEKEHIT.	TUOTANTO MARKKINOINTI
VALTIO (OPM, SUOMEN AKATEMIA)		MINISTERIÖT TEKES, TEM, YRITYKSET	YRITYKSET TEKES, TEM	YRITYKSET

Ketjun yläpuolella ovat toimijat, alapuolella maksajat. Ketjun heikoin lenkki on yliopistojen perustutkimus ja opetus. Yliopistot voivat tehdä hankkeita myös soveltavaa tutkimusta ja ammattikorkeakoulut tuotekehitystä. Perustutkimuksen ja soveltavan tutkimuksen raja on nykyisin usein epämääräinen. M.Tiuri 13.5.2008.

Esimerkki jo toteutuneesta innovaatiosta on VTI:n mikroanturi, jolla mitataan liikettä ja kiihtyvyyttä kolmiulotteisesti. Mikroanturi perustuu mikrosähkömekaaniseen tekniikkaan (MEMS), jossa puolijohdetekniikkaa soveltaen piikiekolle valmistuu kerrallaan tuhansia antureita. Vaisala Oy ryhtyi tutkimaan ja kehittämään MEMS-paineanturia radiosondeihinsa 1979.

Paineanturin valmistuttua t&k-toimintaa suunnattiin liike- ja kiihtyvyyssantureihin 1987. Jatkotoimintaa ja tuotantoa varten perustettiin 1991 yritys VTI Technologies. Yritys on nyt maailman markkinajohtaja mikroanturien autosovellutuksissa. Henkilökuntaa on 700, myynti lähes 70 miljoonaa euroa ja vienti 99 % tuotannosta. Uusia sovellutuskohteita ovat muun muassa kännykät, jotka tietävät miten päin niitä pidetään.

Kuva 30. Esimerkkejä eri vaiheessa olevista huipputekniikan innovaatioista

AURINKOTUULIPURJE

Kulkemiseen avaruudessa, satelliittien alasajoon ja asteroidien ratamuutoksiin. **Ilmatieteenlaitoksen** tutkijan Pekka Janhusen auringon hiukkasvirtauksen käyttökeksintö 2006. Tutkimusvaiheessa, koe Aalto-1 satelliitissa 2013

HIPAISUNÄYTÖT

Perustuu Aalto-yliopiston Micronovan prof. Esko I. Kauppinen tutkimusryhmän 2006 keksimään patentoituun nanonuppuun. Näytön maksimikoko A4. Painettu lasilevyille tai taipuisalle muoville. Edullinen nykynäyttöihin verrattuna. Sopii kännyköihin, tietokoneisiin ja lukulaitteisiin. Näyttöjen tuotantoon tähtäävä yritys **Canatu Oy**. Sitran siemenraha 2007, tuotteistaminen 2009–, tuotanto 2012–
Potentiaaliset maailmanmarkkinat 100 miljardia euroa
Rahoitustuki TKK, Suomen Akatemia, Sitra, Tekes

MIKROSÄHKÖMEKAANISET (MEMS) LIIKE- JA PAINEANTURIT

Paineen, kolmiulotteisen liikkeen ja kiihtyvyyden mittausta MEMS-anturilla
Radiosondin MEMS-paineanturin t&k alkoi Vaisala Oy:ssä 1979 ja auto- ym. sovellutuksiin MEMS-liike- ja kiihtyvyyssanturien t&k 1987
VTI Technologies perustettu 1991, maailman markkinajohtaja autosovellutuksissa. 700 työntekijää, myynti 70 Me, 99 % vientiin 2008

Aurinkotuulipurje on luonnontieteelliseen tutkimukseen perustuva innovaatioketjun alkupäässä oleva keksintö. Hipaisunäyttö on innovaatioketjun puolivälissä ja mikrosähkömekaaniset anturit valmis innovaatio, jonka sovellutukset ovat voimakkaassa kasvuvaiheessa. M. Tiuri 20.1.2011.

Aurinkotuulipurje on esimerkki alkuvaiheessa olevasta innovaatiosta, jolla toteuduttuaan on laajakantoisia seurauksia avaruustekniikassa. Se perustuu Ilmatieteenlaitoksen aurinkotuulen tutkijan keksintöön auringon hiukkasvirtauksen hyväksikäytöstä avaruudessa liikkumiseen. Sovellutuksia ovat mm pitkät avaruusmatkat, loppuun käytettyjen satelliittien alasajo ja asteroidien ratamuutokset törmäysten torjumiseksi.

Millimetrialueen radiotekniikka kehittyy edelleen, mutta sovellutukset ovat jo mahdollisia. VTT:llä ja Aalto-yliopistossa on tutkittu mm terahertsikuvausta, jota voidaan soveltaa lentokentillä turvatarkastukseen. Kuvaus perustuu ihmisen oman säteilyn mittaamiseen terahertsialueella.

Metalliesineet estävät säteilyn, joten ne näkyvät kuvassa mustana. Ilmakehän millimetriaalloille aiheuttama vaimennus on joillakin taajuusalueilla suuri, joten ne sopivat lyhyihin erittäin laajakaistaisiin yhteyksiin, jotka eivät häiritse muita. Uusia mittaus- ja anturisovellutuksia on odotettavissa.

Konetekniikalle nanotekniikka ja uudet materiaalit tuottavat lukuisia uusia sovellutuksia. Energia-alalla sovellutuksia on sähköön tuottaminen vähän päästöjä aiheuttaen. Kemian teollisuus saa käyttöön uusia prosessien katalyytteja. Metsäteollisuudelle painetut elektroniikkapiirit ja puuta sisältävät komposiittimateriaalit ovat tulevaisuuden mahdollisuus, samoin puukemian tuotteet.

Perusedellytys kestäväälle tulevaisuudelle Suomessa on innovaatioketjun alkupään toiminnan parantaminen. Tarvitaan teknillisten tieteiden ja luonnontieteiden yliopistojen resurssiohjelma. Myytti koulutuksen korkeasta tasosta Suomessa on muutettava todellisuudeksi. Siten saadaan kansainvälisen tason ulkomaisia tutkijoita Suomeen ja lahjakkaita nuoria kiinnostumaan tekniikan ja luonnontieteiden opiskelusta. Siten taataan, että tulevaisuudessakin Suomi on huipputekniikan maa ja täällä syntyy runsaasti uusia innovatiivisia tuotteita ja kasvuyrityksiä

Välitavoitteena 1980-luvun tason saavuttaminen edellyttää opetusresurssien (opettajat, laitehankintavarat, laboratoriohenkilökunta)

kaksinkertaistamista teknillisissä tieteissä. Luonnontieteissä lisäystarve on lähes yhtä suuri, kauppatieteissä viidesosa. Uusi 2009 yliopistolaki helpottaa yliopistoissa resurssien käyttöä ja ulkopuolisten varojen hankintaa. Pääedellytys on kuitenkin, että yliopistojen perusrahoitus valtion budjetista on riittävä.

Aalto-yliopiston (TKK + Helsingin Kauppakorkeakoulu + Taideteollinen korkeakoulu) perustaminen on askel oikeaan suuntaan. Aalto-yliopiston ydin on TKK, joka edustaa 80 % Aalto-yliopiston perusopiskelijoista ja vielä suuremman osan tohtoriopiskelijoista. Yhden korkeakoulun sijasta on kuitenkin saatu kuusi korkeakoulua, sillä TKK on jaettu neljäksi korkeakouluksi, Insinööritieteiden, Kemian tekniikan, Perustieteiden ja Sähkötekniikan korkeakouluksi. Jako vaatii tarkistamista. Insinööritieteisiin kuuluvat kaikki muut tekniikan alat paitsi kemia ja sähkötekniikka. Radiotiede ja -tekniikka sekä elektroniikka ovat Sähkötekniikan korkeakoulussa, tietotekniikka ja tietoliikennetekniikka sekä Sähkötekniikan että Perustieteiden korkeakoulussa. Perustieteiden korkeakouluun kuuluu fysiikka, mutta ei kemia. Sinne on otettu mukaan myös tuotantotalous.

Aalto-yliopistosuunnitelman lähtökohtana oli toimintavarojen kaksinkertaistaminen valtion budjetissa eli 200 miljoonan euron lisäys niihin. Yliopistolle luodaan myös säätiö, jonka peruspääomaan valtio sijoittaa 500 miljoonaa euroa ja yritykset sekä yksityiset 200 miljoonaa euroa.

Toimintavarojen lisäys on jäänyt pahasti jälkeen suunnitelmasta. Säätiön varat hyvin sijoitettuina tuottavat tulevaisuudessa vuosittain ehkä 35 miljoonaa euroa vapaasti sijoitettavaksi toimintaan, mutta eivät ratkaise teknillisten tieteiden perusresurssien vajausta. Toimintaresurssien nostaminen vaikuttaa nopeasti Suomen kilpailukykyyn. Yritykset ja yhteiskunta saavat heti laadukkaammin koulutettuja diplomi-insinöörejä ja tohtoreita. Uutta tietoa syntyy enemmän.

Innotalo suomalaisten innovaatioiden esittelyyn

Suomi elää tekniikan innovaatioista, mutta asiaa ei yleisesti tunnusteta. Tiedotusvälineissä tekniikka on esillä useimmiten vain, kun jokin yritys siirtää tuotantoaan kehitysmaihin. Tulevaisuuden kannalta on tärkeätä parantaa suomalaisten innovaatiotietoisuutta. Hyvä ja suurta yleisöä kiinnostava keino on tuoda esiin suomalaisia tieteen ja tekniikan innovaatioita ja tulevia mahdollisuuksia sekä niiden merkitystä maan varallisuuden ja hyvinvoinnin tuottajina. Se myös innostaisi nuoria innovoimaan. Tarvitaan Innosuomitalo keskeiselle paikalle täydentämään muun kulttuurin esittämiseen jo rakennettuja taloja.

Menestyksellisiä suomalaisia innovaatioita ovat olleet tai ovat aikaisemmin jo mainittujen Vaisalan säähavaintolaitteiden, VTI:n kiihtyvyyssanturien, ABB:n ja Vaconin taajuusmuuttajien lisäksi muun muassa liekkisulatus kuparin valmistukseen, Abloy-lukko, sääsatteliliittien vastaanottojärjestelmä, radiosondi suon energiamittaukseen, pohjoismainen matkapuhelinjärjestelmä ja kännykät, jäänmurtaja, suuri risteilijälaiva, leijukerros poltto, paperikone, azipod-potkuri, sumuverho videonäyttöön, sininen laser sekä nanotekniikan tutkimus ja tulevat sovellutukset. Tekniikan Akateemisten valitsema suomalaisen insinööritoiminnan palkintokohteet kuuluisivat myös esiteltäviin. Ulkomaalaisista mukaan sopisivat Suomen jakaman Millennium-palkinnon saaneet innovaatiot.

Innosuomitalolle luonnollinen sijaintipaikka olisi esimerkiksi Tapiolan ja Otaniemen yhdistävä alue, joka tulee käyttöön, kun Kehä 1 alkupää sijoitetaan tunneliin. Tapiolassa Emma-museon lähellä oleva aluekin olisi mahdollinen. Innosuomitalo täydentäisi Otaniemen ja Espoon tunnettavuutta Pohjoismaiden suurimpana Tekniikan osaamisen ja innovaatioiden lähteenä.

Innosuomitalossa voidaan toteutuneiden innovaatioiden ja niiden kehittäjien lisäksi esitellä lupaavia innovaatioita kehittäviä uusia yrityksiä ja tutkimuksia, jotka todennäköisesti ovat luomassa perustaa uusille innovaatioille. Talossa tulee myös olla tiloja läheisesti aiheeseen liittyviä näyttelyitä ja kokouksia varten.

Innosuomitalosta on tehtävä kansallinen kulttuuri-innovaatio, joka kiinnostaa myös ulkomaalaisia. Se on uusi pääkaupunkiseudun vetonaula ja täydennys Espoon kulttuuritarjontaan.

Tiede- ja teknologiaministeri vastaamaan tiede- ja teknologiapolitiikan kehittämisestä

Eduskunta on hyväksynyt yliopistolain. Valtio antaa yliopistoille toimintavarat ja niillä on lisäksi mahdollisuus hankkia omia varoja. Uudistus on kesken, sillä ohjelma yliopistojen kehittämisestä ja toimintaresurssien lisäämisestä lähemmäs kansainvälistä tasoa puuttuu.

Suomen innovaatiopolitiikka kärsii vastuun jakaantumisesta opetusministeriön ja työvoima- ja elinkeinoministeriön kesken. Kummallakin on omat laajat toiminta-alueensa. Opetusministeriö on muutettu opetus- ja kulttuuriministeriöksi. Kulttuuri on kaikissa hyvinvointiyhteiskunnissa korkealla tasolla, mutta kulttuuri ei takaa hyvinvointia vaan hyvinvointi takaa kulttuurin.

Ottaen huomioon tehokkaasti toimivan innovaatiojärjestelmän tärkeyden Suomen kansantalouden ja työllisyyden kannalta on välttämätöntä, että siitä huolehtii tiede- ja teknologiaministeri. Oma ministeriö ei ole tarpeen, vaan ministeri voi toimia valtioneuvoston kansliassa. Ministerillä on vastuu teknillisten tieteiden ja luonnon-tieteiden perustutkimuksen ja -opetuksen kehittämisohjelmasta sekä ammattikorkeakoulujen tekniikan opetuksen laajuudesta ja opiskelijaa kohti tulevien opetusresurssien lisäämisestä. Ministerin käyttöön on varattava valtion talousarviossa tarkoitusta varten riittävän suuri määräraha.

Valtioneuvosto antaa vaalikausittain eduskunnalle tulevaisuusse-lonteon lähitulevaisuuden näkymistä. Vastuu selonteon laatimisesta sopii tiede- ja teknologiaministerille.

7.

Tie kestävään yleissivistykseen

Vanhakantainen yleissivistys voimissaan

Yleissivistys on perustietoa ja -taitoa, jota kansalainen tarvitsee toimissaan yhteiskunnan jäsenenä. Uudessa tietosanakirjassa, joka ilmestyi 40 vuotta sitten yleissivistykseksi määriteltiin ”ne tiedot ja taidot sekä käyttäytymis- ja puhutavat, joita vaaditaan niiltä yhteiskunnan jäseniltä, joille asetetut yleiset vaatimukset ovat suurimmat”. Yleissivistykseen kuuluvia asioita olivat: ”äidinkielen täydellinen osaaminen, vieraiden kielten taitoa, yleisten poliittisten asioiden tuntemusta sekä jonkun verran eri taiteiden ajankohtaisten virtausten harrastamista”.

Tämä vanhentunut yleissivistyksen käsite on peräisin Saksasta, jossa sitä kehitti 1700-luvun lopulla yliopistomies Wilhelm von Humboldt. Kielet, historia ja humanistiset aineet saivat korostetun aseman. Maailma on sen jälkeen muuttunut luonnontieteiden ja teknillisten tieteiden vaikuttaessa ratkaisevasti yhteiskuntien kehitykseen ja toimintoihin. Yleissivistykseen kuuluvien asioiden pitäisi muuttua vastaavasti, mutta Suomessa näyttää vanha käsitys yleissivistyksestä edelleen olevan arvossa, eikä kansalaisilta edellytetä luonnontieteiden ja tekniikan perusasioiden tuntemista.

Nykyaikaisen yleissivistyksen puute on silmiinpistävä. Kaiken lisäksi siitä ei edes tiedetä, vaan kuvitellaan kaiken olevan hyvin. Tämän kirjoittaja esitti vuosia sitten silloiselle opetusministerille Christoffer Taxellille eduskunnassa kysymyksen: eikö ole tärkeätä, että suomalaisen yleissivistykseen lisätään luonnontieteitä ja tekniikkaa. Ministeri vastasi, että kyllä ne ovat tärkeitä, mutta että kyllä yleissivistyskin on tärkeä! Yleissivistyksestä vastaavat peruskoulu, ammatillinen koulutus ja lukiot. Suomessa on kymmeniä musiikkilukioita, 12 urheilulukiota, taidelukioita, mutta vain muutama luonnontieteisiin tai tekniikkaan erikoistunut lukio.

Vanhentuneen yleissivistyskäsitteen sitkeyttä vielä 2000-luvulla osoittaa Helsingin Sanomien kulttuuritoimituksen toukokuussa 2007 julkaisema lista asioista, jotka kuuluvat yleistietoon. Pääosa kysymyksistä liittyy historiaan, maantieteeseen ja politiikkaan. Ainoa tekniikkaa sivuava kysymys ei ole varsinaista tekniikkaa vaan ”nappulatekniikkaa”. Kysytään käsivaihteisen auton jarrupolkimen sijaintia (oikealla, keskellä vai vasemmalla)! Yksikään kysymys ei koskenut luonnontieteitä.

Toisenlaisen kuvan yleissivistyksen kuuluvista asioista antaa Newsweekin jo 20 vuotta sitten julkaisema lista 26 aiheesta, joiden tulisi olla tuttuja kaikille kulttuuritietoisille amerikkalaisille. Listassa ovat mukana luonnontieteestä ja tekniikasta Maxwellin yhtälöt, Braunin liike, valenssi, vaihtovirtageneraattori ja byte. Lista edustaa nykyaikaista käsitystä yleissivistyksestä. Suomessa Maxwell tunnetaan entisenä kahvimerkkinä ja von Braun rakettien kehittäjänä!

Maailma on lyhyessä ajassa muuttunut yhä monimutkaisemmaksi. Kansalaiset ja asioista päättävät poliitikot ovat suurissa vaikeuksissa kun vanha yleissivistys ei alkuunkaan riitä ymmärtämään kehitystä puhumattakaan sen riittämisestä päätöksenteon perustaksi. Media on tehnyt tilanteen vielä vaikeammaksi luomalla Gallup-demokratian. Kansalaisilta kysytään esimerkiksi geenitekniikkaan tai ilmastopolitiikkaan liittyviä kannanottoja, joihin heillä ei ole riittäviä pohjatietoja. Populistipoliitikot sitten käyttävät gallup-kyselyn harhaisia tuloksia päätöstensä perustelemiseksi.

Yleissivistuksen puutteet tieteen ja tekniikan pelkojen lietsojana

Puutteellisen yleissivistuksen seurauksena on tieteen ja tekniikan pelko. Se taas johtaa vääriin valintoihin yhteiskunnan tärkeissä tekniikkaan nojautuvissa toiminnoissa. Siitä on valitettavia esimerkkejä monissa Euroopan maissa kuten ydinvoiman vastustus, ruuan säteilytyksen kieltäminen ja geeniruuan pelko. Gallup-kyselyt osoittavat, että näiden asioiden vastustus on suurinta vähiten tietävien keskuudessa.

Pseudotieteet ja rajatieto ovat valloittaneet metreittäin kirjahyllyjä kirjakaupoissa ja ohjelma-aikaa Ylen lähetyksissä. Yleisradion ruotsinkieliselle toimitukselle on harhatietoa paljastava Skepsis-yhdistys jakanut muutama vuosi sitten huuhaa-tiedon levittämispalkinnonkin.

Yhden asian liikkeillä on otollinen maaperä harhatietojen levittämiseen. Ne käyttävät hyväkseen nykyaikaisen yleissivistuksen puutetta esittäessään kauhukuvia tieteen ja tekniikan uusien sovellutusten seurauksista. Itävallassa yli miljoona ihmistä saatiin allekirjoittamaan kansalaisadressi, jossa vaaditaan geeniruuan kieltämistä! Suomessa Vantaan valtuuston vihreän valtuutetun aloitteesta kaupunki on 2009 sitoutunut olemaan käyttämättä geenimuunneltuja elintarvikkeita tai kasvattamasta geenimuunneltuja kasveja omistamiensa peltujen viljelyssä. Tavarantoimittajilta Vantaa vaatii sitoumuksen siitä, etteivät ne toimita kaupungin ateriapalvelulle geenimuunneltuja tuotteita!

”Luonnonmukaisen” viljelyn eli luomuviljelyn halutaan yleistyvän. Luomuviljelyssä ei käytetä apulantoja eikä tuholaisten torjunta-aineita. Karjalle ei syötetä väkirehuja. Ravinnesiaattia saadaan maahan viljelemällä määrääjain pellolla ilmasta nitraattia yhteyttäviä kasveja. Luomutuotannossa on vaikeata huolehtia siitä, että eri ravinteet ovat tasapainossa. Jos niitä on liikaa, tulee ylimääräisiä päästöjä ympäristöön. Päinvastaisessa tapauksessa tuotanto alenee odotetusta.

Luomutuotteiden kuvitellaan olevan puhtaampia, kun niissä ei ole torjunta-ainejäämiä. Todellisuudessa torjunta-aineiden sallitut jäämät ovat merkityksettömiä tavanomaisessakin ruuan tuotannossa. Uskotaan myös, että ruokatarvikkeet, jotka perustuvat geenimuunneltuihin kas-

veihin, ovat myrkyllisiä tai muuten vaarallisia. Luomuruuan väitetään myös olevan maukkaampaa kuin geenimuunnettuja ainesosia sisältävien. Tutkimuksiin perustuvaa näyttöä ei ole. Huippuidea negatiivisessa mielessä on nimetä luomutuotanto Suomen maabrändiksi!

Geenimuunnettujen kasvien viljelyä vastustetaan myös siksi, että muunnettujen geenien pelätään leviävän ympäristön rikkakasveihin, joista tulee entistä kestävämpiä. Tavanomainen kasvinjalostus on ollut vaarallisempaa sattumanvaraisuutensa vuoksi. Kasvien kehitysbiologian professorin Yrjö Helariutan mukaan ”luomuviljely on sittenkin tyypillisesti geneettisesti varsin sattumanvaraisesti muokattujen meille alkuperältään vieraiden lajikkeiden tai lajien viljelyä ihmisen keinotekoisesti ylläpitämässä ympäristössä”.

Ruuan riittävyys vaarantuu, jos luonnonmukainen viljely yleisyy. Välivuosien johdosta viljasadot vähenevät yli neljäsosalla. Myös lypsykarjan tuotanto laskee. Koska sadot joka tapauksessa ovat lähes kolmasosan pienempiä, tarvitaan vastaavasti peltoa viljelyyn lisää. Yhä suurempi osa maapallon pinta-alasta pitäisi ottaa pois luonnolta ihmisten käyttöön, mikä vähentäisi luonnon monimuotoisuutta ja aiheuttaa maankäytön muutoksista johtuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Tulos olisi ympäristönsuojelun vastainen.

Harhakäsitys on myös, että lähiruoan suosiminen on hyvä ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Todellisuudessa tekniikan kehityksen ansiosta kuljetuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ja edullisissa olosuhteissa tuotetun lihan tai talvivihannesten aiheuttamat päästöt ovat pienemmät. Pohjois-Suomessa Brasiliasta tuodun melonin kilohinta on talvella alempi kuin lantun. Lähiruoka voi olla edullinen työllisyyden kannalta.

Kännyköiden yleistyminen on herättänyt radiosäteilyn pelon. Radiotekniikan professorina olen vuosikymmeniä seurannut sähkömagneettisen säteilyn eli radiosäteilyn terveysvaikutusten tutkimuksia. Laajoihin tutkimuksiin nojautuen on kansainvälisesti hyväksytty radiosäteilyn altistukselle raja-arvot, joita ei saa ylittää radiolaitteita käytettäessä. Raja-arvot perustuvat säteilyn lämpövaikutuksiin varmuuskerroin huomioonottaen. Nykyiset kännykät toimivat selvästi

raja-arvoja alhaisemmilla kentillä. Myös tukiasemat sijoitetaan niin, etteivät raja-arvot ylity.

Sähköliherkiksi itsensä tuntevat väittävät, että raja-arvoja paljon alhaisemmat kentänvoimakkuudet aiheuttavat heille unihäiriöitä, päänsärkyä, väsymystä tai kognitiivisia ongelmia. Sähköliherkkien oireet voivat olla vakavia ja vaikeimmissa tapauksissa sähköliherkkyydestä kärsivä on työkyvytön.

Lukuisissa tutkimuksissa ja sokkotesteissä sähköliherkillä ei ole voitu osoittaa, että radiosäteily aikaansaisi nämä oireet. Sähköliherkkyyks on ilmeisesti riippumaton sähkökentän olemassaolosta. Entistä laajempia tutkimuksia on edelleen käynnissä aikaisempien tulosten varmistamiseksi. Lämpövaikutusten lisäksi on viime aikoina tutkittu radiosäteilyn vaikutusta solutasolla. Lämpövaikutusta hieman alhaisemmalla teholla on havaittu ilmiöitä, mutta niiden yhdistäminen normaaliin altistukseen on epäselvä.

Sähköliherkkyydessä on ilmeisesti kysymys somatisaatiosta, jossa subjektiivisia oireita yhdistetään johonkin ympäristön ilmiöön ilman todellista syy-yhteyttä. Heikkojen sähkömagneettisten kenttien haittavaikutusten tutkimuksen sijasta tarvittaisiin psykososiaalisia tutkimuksia. Lääkäreiden tulisi lieventää näitä oireita asiallisella suhtautumisella: oireet ja kärsimykset ovat todellisia, mutta syy ei ole sähkömagneettisessa säteilyssä.

On huomattava, että myös ula- ja tv-asemien lähetyksen pitäisi aiheuttaa sähköliherkkyyttä. Ula- ja tv-asemien säteilyteho on tyyppillisesti monikymmenkertainen verrattuna matkapuhelintukiaseman tehoon. TV-maston vaikutuksen pitäisi siis ulottua paljon kauemmaksi kuin tukiaseman.

Nanotekniikka on herättänyt epäilyksiä turvallisuuden kannalta. Pienet hiukkaset voivat esimerkiksi tunkeutua keuhkoihin ja aiheuttaa sairauksia. Ihmiskunta on tottunut nanohiukkasiin savuhiukkasten muodossa. Pienhiukkastutkimukset viittaavat siihen, että vaarallisimpia ovat 2000 nanometrin suuruusluokkaa olevat hiukkaset, joita syntyy kun energiaa tuotetaan polttamalla.

Kuitumaisista pienhiukkasista vaarallisimmiksi ovat osoittautuneet 15 000–20 000 nanometrin pituiset asbestikuidun neulamaiset pätkät, jotka hengitettynä johtavat keuhkosityöpään. Vastaavasti pitkät nanoputket voisivat olla vaarallisia. Normeja ja ohjeita nanohiukkasten käsittelyssä kehitetään jatkuvasti.

Nanotieteen alkuaikoina 1990-luvulla kauhukuva olivat itseään monistavat nanorobotit, joiden Englannin prinssi Charles pelkäsi valloittavan koko maailman. Onneksi nanotekniikka ei ole ainakaan toistaiseksi herättänyt voimakkaita yhdenasian vastustusliikkeitä.

Uusi yleissivistys lähtökohdaksi

Uudet yleissivistyksen määritelmät laajentavat yleissivistyksen kuuluvan kaikille kansalaisille ja siihen kuuluvan asioita, jotka ovat tarpeen nykyisen tietoyhteiskunnan toiminnan ymmärtämiseksi. Wikipedian mukaan yleissivistyksellä tarkoitetaan sitä tieto- ja taitomäärää, joka kaikkien kansalaisten olisi hallittava voidakseen toimia ja vaikuttaa yhteiskunnassa.

Ihmiskunta kehittyä ja toimii yhä enemmän luonnontieteiden, teknillisten tieteiden ja tekniikan varassa. Tietoliikenne on nopeasti kuitistanut maapallon ja aikaansaanut jatkuvasti toimivat henkilökohtaiset yhteydet sekä internetin ennennäkemättömään tiedon hankintaan ja monenlaisten ryhmäyhteyksien ylläpitoon. Televisio antaa kaikkialla näköalan maailman tapahtumiin ja tarjoaa paikallista ja muualla tehtyä viihdettä. Satelliittipaikannus mahdollistaa joka hetki sijainnin tarkan määrittämisen. Sää- ja kaukokartoitussatelliitit avaavat jatkuvasti uusia mahdollisuuksia maapallon ilmiöiden seurantaan ja tutkimiseen.

Geenitiede ja -tekniikka ovat ratkaisevasti laajentamassa tieteen ja tekniikan mahdollisuuksia. Nanotiede ja -tekniikka luovat uutta tietoa, uusia materiaaleja ja kutistavat elektroniikkaa entisestään. Kehitys on aiheuttanut myös ongelmia, kuten maapallon väestön nopean kasvun,

jonka pysäyttäminen vaatii lääketieteen lisäksi käyttäytymis- ja yhteiskuntatieteiden panosta. Globalisaatio on sekä uhka että mahdollisuus. Ilmastonmuutoksen hillitseminen vaatii riittävää tietoa luonnontieteistä ja energiatekniikasta.

Suomessa monet yliopistot haluavat edelleen olla ”sivistysyliopistoja” ja noudattaa von Humboldtin ihanteita, joihin ”käytännöllisten” asioiden opetus ja tutkimus eivät kuulu. Helsingin yliopiston rehtori Ilkka Niiniluoto valitti keväällä 2007 suomalaisten kokonaiskuvan maailman historiasta ja yhteiskunnasta hämärtyvän tiedon määrän kasvaessa. Yliopistot pelkäävät sivistysyliopistonsa olevan vaarassa, kun valtiovalta on hyväksynyt alunperin Innovaatioyliopistoksi nimetyn Aalto-yliopistohankkeen, jossa teknilliset tieteet, kauppätieteet ja taideteollinen korkeakoulu on yhdistetty samaan yliopistoon. ”Sivistysyliopistojen” mielestä Aalto-yliopiston alat ovat soveltavia. Ristiriitaisesti lääketiede kuitenkin kelpaa sivistysyliopistoon.

On selvää, että tietoyhteiskunta edellyttää kansalaisilta yleissivistystä, jonka olennainen osa ovat luonnontieteiden ja tekniikan perusteet. Ne, joilta se puuttuu, ovat hätää kärsimässä maailman muutoksissa ja helposti harhaanjohtettavissa.

Tekniikan suurten järjestelmien tuntemus osaksi yleissivistystä

Tekniikan merkitys tietoyhteiskunnassa näkyy kansalaisten kannalta selvimmin tekniikan suurten järjestelmien kehittämisessä. Niiden merkityksen ja toimintaperiaatteiden ymmärtäminen on tärkeä osa tietoyhteiskunnan yleissivistystä.

Tekniikan suuret järjestelmät tuottavat yhteiskunnassa tarvittavia palveluita kuva 31. Tietoyhteiskunnan ansiosta ne kehittyvät jatkuvasti ja syntyy uusia palveluita, jotka eivät olleet mahdollisia teollisuusyhteiskunnassa. Tyypillistä on, että tietoyhteiskunnan tarjoamiin uusiin

mahdollisuuksiin totutaan suhteellisen nopeasti, ja kohta niiden käyttöä pidetään itsestään selvänä.

Hyvä esimerkki on GPS-navigointijärjestelmä, joka on nopeasti levinnyt jokapäiväiseen käyttöön. Todellisuudessa järjestelmän kehittäminen on vienyt runsaasti aikaa perustutkimuksesta ja kokeiluista alkaen. GPS:n toimintaperiaate oli selvillä ja kokeiluja tehtiin jo 1960-luvulla, mutta vaadittiin monien tekniikan ja tieteenalojen kuten elektroniikan, radiotekniikan, atomikellojen, ionosfääriin ja troposfääriin tuntemuksen kehittymistä ennen kuin järjestelmä oli valmis yleiseen käyttöön. Silloin se löi itsensä läpi muutamassa vuodessa.

Toisaalta monet järjestelmät voivat muuttua olennaisesti vain vuosikymmenien kuluessa niihin sitoutuneiden suurten pääomien vuoksi. Hitaasti muuttuvista on hyvä esimerkki energiajärjestelmä, kuten aikaisemmin on todettu.

Kuva 31. Tekniikan suuria järjestelmiä

ENERGIAJÄRJESTELMÄT: fossiilivoimalat, vesivoima, ydinvoima, uusiutuva, sähköverkot, hiilikaivokset, öljyn ja kaasun tuotanto, kuljetus ja jakelu

LIIKENNEJÄRJESTELMÄT: laiva-, juna-, bussi-, auto-, lentoliikenne

LVI-JÄRJESTELMÄT: lämmitys, viemäröinti, vesijohdot

TERVEYDENHOITOJÄRJESTELMÄT: terveysasemat, sairaalat, apteekit

TIETOLIIKENNEJÄRJESTELMÄT: lankapuhelinverkko, matkapuhelimet, tietoverkot, laajakaistayhteydet

SATELLIITTIJÄRJESTELMÄT: tietoliikenne, sää, navigointi, kaukokartoitus

LAIVALIIKENNE:

Satamat,

Huolinta

Laivareitit

Jäänmurtaajat

Konttilaivat, rorolaivat (lähiliikennelaivat, valtamerilaivat)

Matkustajalaivat

Tekniikan suuret järjestelmät vastaavat maailmanlaajuisista yhteiskunnan teknillisistä palveluista. Niihin on sitoutunut suuria pääomia ja runsaasti alan asiantuntemusta. Järjestelmät kehittyvät jatkuvasti. Kullakin on oma muutosaikavakionsa. Alajärjestelmistä esimerkkinä laivaliikenne. M. Tiuri 2010.

Tekniikan suurten järjestelmien tarjoamat entistä paremmat ja uudet palvelut johtavat tehokkaampaan toimintaan ja vähentävät luonnonvarojen kulutusta. Niiden jatkuva kehittyminen on tärkeä osa tiellä kestävään kehitykseen.

Akvaduktit kasteluveden toimittamiseksi maataloudelle ovat vanhimpia teknillisiä järjestelmiä. Ne ovat korvautuneet vesijohtoverkoilla ja myöhemmin ovat tulleet mukaan myös viemärijärjestelmät. Nykykaupunkilaiset huomaavat niiden olemassaolon vasta häiriöiden sattuessa. Todellisuudessa ne ovat vaatineet ja vaativat tulevaisuudessakin paljon insinööriä. Suurin ongelma on puhtaan juomaveden hankinta ja jakelu. Suomessa pääkaupunkiseudulla Päijänne-tunneli takaa vesijohtoveden, joka voittaa laadultaan monet pullovedet.

Yli 150 vuotta vanha junaliikenne on suuri tekniikan järjestelmä, joka on monella tavalla vaikuttanut ihmiskunnan kehitykseen. Se edusti aikoinaan pääosaa Amerikassa Lännen valloituksessa. Junien nopeus oli alkuaikoina muutaman kymmenen kilometriä tunnissa, eikä ihmisten uskottu suurempaa nopeutta fyysisesti kestävänsäkään. Nykyisin luotijunien nopeus lähestyy 350 kilometriä tunnissa. Kiinassa ensimmäinen 350 km/h luotijuna yhdisti vuonna 2009 sisämaan Wuhanin rannikon Guangzhouhun. Suunnitteilla on 800 luotijunaa vuoteen 2013 mennessä ja myöhemmin Silkkien korvaaminen luotijunilla, joiden määränpäättäjät ovat Berliini ja Lontoo.

Saksassa on jo pitkään kehitetty magneettikentän varassa kulkevaa junaa, jolla päästään 500 kilometrin tuntinopeuteen. Ensimmäiset ovat käytössä Shanghaissa lentokentän ja keskustan välillä.

Autoliikenne on monitahoinen suuri järjestelmä, joka käsittää öljykentät, öljynkuljetuksen, polttoaineiden valmistuksen ja jakelun, autontuotannon alihankkijoineen, autojen myynnin ja markkinoinnin sekä huollon ja korjauksen. Järjestelmä työllistää miljoonia ihmisiä. Se on yli 100 vuotta nojannut polttomoottorin jatkuvaan kehitykseen. Järjestelmän suuruus vaikeuttaa kilpailevien moottorien mahdollisuuksia. On kuitenkin ilmeistä, että sähkömoottori ennen pitkää korvaa polttomoottorin. Akkutekniikan tutkimukseen sijoitetaan miljardeja euroja, joten suuri muutos autoliikennejärjestelmässä on odotettavissa.

Tieteen ja tekniikan kehitys on ratkaisevasti parantanut terveydenhoitojärjestelmää. Röntgenkuvaus on laajentunut tomografiakuvaukseksi, jolla saadaan kolmiulotteinen kuva kohteesta. Röntgenkuvausta täydentämään ja korvaamaan ovat tulleet ultraäänitutkimukset, magneettikuvaukset muun muassa aivojen tutkimukseen ja positronikuvaukset eri elinten toimintojen selvittämiseen. Robotit on otettu avuksi tarkoissa leikkauksissa. Molekyyli lääketiede tuottaa uusia tehokkaampia lääkkeitä ja rokotteita sairauksien hoitoon. Ensiaskeleita ottava geenitekniikka tulee mullistamaan lääketieteen.

Suurin vaikutus ihmisten toimintaan on ollut tietoliikennejärjestelmän tarjoamien palveluiden laajeneminen. Savumerkit ja optiset lennättimet olivat alkeellista tietoliikennettä. Langallinen puhelinverkko ja sähkötyskaapeliyhteydät olivat tietoliikennejärjestelmien alku. Radiotietoliikenteen kehittyminen laajensi järjestelmän maailmanlaajuiseksi yhdessä myöhemmin kehittyneiden satelliittiyhteyksien kanssa.

Matkapuhelinjärjestelmät 1980-luvulta alkaen ovat tehneet yhteyksistä henkilökohtaisia. Sähköposti on yhä enemmän korvaamassa tavallisen postin. Viime vuosina lasikuitu- ja muut laajakaistayhteydet ovat mahdollistaneet nopean tiedonhankinnan hakukoneiden avulla. Käyttöön on tullut myös erilaisia sosiaalisia verkkoja. Radiotekniikan, elektroniikan ja tietotekniikan kehitys jatkuu nopeana erityisesti nanotekniikan ansiosta ja tuo uusia sovellutuksia.

Yleissivistys ajan tasalle koulutuksessa ja mediassa

Peruskoulun tehtävänä on antaa yleissivistyksen perusta. Se täydentyy lukiossa, ammatillisessa koulutuksessa, korkeakouluissa ja aikuiskoulutuksessa. Kaikkien etu on, että yleissivistyksen käsite uusitaan nykyaikaa vastaavaksi. Se on sitäkin tärkeämpää, kun Suomesta on lyhyessä ajassa tullut huipputekniikkaan nojautuva maa. Samasta syystä uusiminen on myös vaativa tehtävä, koska vanhalla yleissivistyksellä on pärjännyt

pitkään. Nuorten on saatava oikea koulutus. Jo koulunsa käyneiden yleissivistystä on parannettava.

Peruskoulun ja lukion on huolehdittava siitä, että tulevaisuudessa jokaisella kansalaisella on perustiedot fysiikassa ja kemiassa sekä kyky ymmärtää nykyaikaista tekniikkaa. Sitä edellyttää tekniikan käyttäminen ja hallinta. Sitä tarvitaan, jotta kansalaiset voisivat tehdä eettisesti ja ekologisesti oikeita ratkaisuja. Tarvitaan teknologiakasvatusta. Suomessa on nyt mahdollisuus korjata yleissivistyksen jälkeenjääneisyys peruskoulun opetusohjelmassa laatimalla ajanmukainen tuntijakoesitys kun vuoden 2010 tuntijakouudistusehdotus hylättiin. Ammatillisessa koulutuksessa oppiaineisiin tarvitaan tekniikan perusteet.

Ylioppilaskirjoitusten viimeisin uudistus meni väärään suuntaan, kun reaaliokoe jaettiin valinnaisiin osiin, jotka mahdollistavat suurten aukkojen syntyminen yleissivistykseen. Yliopisto-opetuksessa on otettava huomioon nykyinen yhteiskunta. Suomen "sivistysyliopistojen" tulisi lisätä opetusohjelmiinsa kaikille opiskelijoille suunnattu luonnontieteiden ja tekniikan perusteet.

Malkaa ei huomata omassa silmässä. Marjatta Hietala ja Christian Krörtl esittävät (*Tieteessä tapahtuu* 5/2006), että teknillisten tieteiden ja taloustieteiden koulutusta laaja-alaisesti liittämällä teknillisten korkeakoulujen ja kauppakorkeakoulujen opetus- ja tutkimustarjontaan humanistis-kulttuuris-yhteiskunnallisia aineita. Se on hyödyllistä ja siihen tähtää muun muassa Aalto-yliopisto, mutta vieläkin tärkeämpää olisi siirtää humanistis-yhteiskunnalliset yliopistot nykyaikaan. Yliopistojen on annettava luonnontieteiden ja tekniikan yleiskurssit opiskelijoilleen. Sama koskee myös ammattikorkeakouluja.

YLE pitää itseään julkisen palvelun laitoksena, mutta se laiminlyö huomattavalta osalta yhteiskuntavastuunsa. Se tarjoaa kansalaisille liian niukasti uuden yleissivistyksen rakennusaineita. YLE lähettää uutisia ja ohjelmia politiikasta, urheilusta, terveydestä ja kulttuurista, mutta luonnontieteiden osuus on vaatimaton ja tekniikan olematon. Toimittajilta edellytetään vain vanhaa yleissivistystä, joten niissäkin ohjelmissa, jotka käsittelevät tekniikan asioita kuten energiantuotantoa, toimittajat hyväksyvät väärät tiedot, eivätkä pysty esittämään oikeita

ja olennaisia kysymyksiä. Uusin valitettava esimerkki on Japanin Fukushima ydinvoimaonnettomuuden uutisointi kuten luvussa 5 on selvitetty.

Kulttuuriuutiset YLE:llä on päivittäin. Niissä teatteriväki ja taiteilijat arvioivat globalisaation haittoja ja esittävät neuvoja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi! YLE on osaltaan vastuussa nuorten väärinohjauksesta. Vuonna 2010 näyttelijäkoulutukseen pyrki 1144 nuorta, joista 12 otettiin. Taidealoille otettiin kaikkiaan lähes 8000 uutta opiskelijaa, vaikka tarkoitus oli ottaa vain hieman yli 5000. Pyrkijöitä riitti, joten koulut ylittivät kiintiönsä, koska valtiolta saa toimintavaroja opiskelijamäärän perusteella. Monet valmistuneet jäävät työttömiksi.

Julkisen palvelun laitoksena YLE tarvitsee vahvan tieteen ja teknologian toimituksen, jossa toimittajat hallitsevat substanssiasiat. Tekniikan uutiset tulee lähettää yhtä usein kuin kulttuuriuutisetkin. Tekniikka ja luonnontieteet ovat luovia aloja, mutta YLE kuvaa tekniikkaa usein vain nappulatekniikkana.

Sanomalehdistö on YLEn tasolla. Poliitiikan, urheilun ja kulttuurin toimittajilta edellytetään alansa asiantuntemusta, mutta tekniikan tuntemus on vaatimatonta ja uutiset usein harhaanjohtavia. Suurin sanomalehti *Helsingin Sanomat* julkaisee viikoittain tiedeosastoa. Tekniikan alalta julkaistaan lauantaisin Autoliite, mutta se keskittyy yksinomaan autoihin ja autoliikenteeseen.

Maailma on jo yli sata vuotta enenemässä määrin nojautunut teknillistieteelliseen kehitykseen. Muutos on kiihtynyt ja johtanut tekniikan käytön ja sen merkityksen jatkuvaan kasvuun yhteiskunnassa. Nyt kansalaiset ja poliitikot joutuvat yhä enemmän käsittelemään tekniikkaan ja luonnontieteisiin liittyviä asioita kuten ilmastonmuutos, ympäristöasiat, energiantuotanto ja geenimuuntelu, jotka edellyttävät riittäviä pohjatietoja. Suomen menestyminen tekniikan tiedoista ja osaamisesta riippuvana maana vaatii kansalaisilta nykyaikaista yleisivistystä. Opetuksen tehtävänä eri tasoilla on huolehtia siitä. Median on panostettava luonnontieteiden ja tekniikan osaamiseen.

8.

Tie kestävään demokratiaan

Gallup-demokratia ja verkkoyhteys korvaavat kansanedustajat?

Antiikin Roomassa kaikki vapaat miehet voivat Forumilla päättää yhteisistä asioista. Se oli demokraattisen järjestelmän alku. Yhteiskuntien monipuolistuessa ja väestön kasvaessa kehittyi säätydemokratia, jossa aatelisto sekä papiston, porvariston ja talonpoikaiston edustajat päättivät yhteisistä asioista. Vähitellen tultiin nykyiseen edustukselliseen demokratiaan, jossa kansan valitsevat kansanedustajat eduskuntaan kokoontuneina päättävät yhteisistä asioista. Tähän päästiin ensimmäisenä Suomessa, jossa vuodesta 1906 alkaen koko kansa sekä naiset että miehet voivat osallistua vaaleihin ja myös asettua ehdokkaiksi.

Nyt on teoriassa mahdollista palata demokratiaan lähes antiikin tapaan. Gallup-kyselyiden avulla saadaan luotettava kuva kansalaisten mielipiteistä. Edustavasti valitulta joukolta kansalaisia voidaan kysyä mielipidettä mistä hyvänsä ajankohtaisesta asiasta. Kun haastateltavia on toista tuhatta, antavat vastaukset luotettavan kuvan ihmisten kannoista. Valittavana on tavallisesti kolme tai neljä vaihtoehtoa. Media on jatkuvasti lisännyt gallup-kyselyitään. Periaatteessa kansanedustajia

ei enää tarvittaisi, koska kyselyt voisivat korvata eduskunnan. Lähtölevaisuudessa päästään todelliseen demokratiaan, kun tietoverkkoyhteudet antavat mahdollisuuden jokaisen kansalaisen osallistua suoraan asioista päättämiseen!

Uudessa gallup-demokratiassa on kuitenkin perusvika. Maailma on yhä monimutkaisempi, joten huomattavalta osalta kansalaisia puuttuu tietoa, jota tarvittaisiin oikean päätöksen pohjaksi. Kysymyksiä voi myös muotoilla halutun vastauksen saamiseksi. Olin 1970 perustamassa Professoriliittoa, kun opiskelijat ja silloinen opetusministeri Johannes Virolainen vaativat yliopistojen hallintoon yksi-mies-yksi-ääni-periaatetta. Päätimme tilata gallup-kyselyn asiasta. Laadimme vaihtoehtokysymykset niin, että tervejärkinen kansalainen voi valita vain periaatetta vastustavan kannan. Se olikin kyselyn tulos!

Kansanäänestystä halutaan monissa asioissa eduskunnan päätöstä ohjaamaan. Kansanäänestys muistuttaa gallupkyselyä, koska siinä kansalta kysyttävät vaihtoehdot on esitettävä yksinkertaisessa muodossa. Monimutkaisissa asioissa kansalaisilta puuttuu riittävä tieto oikean vaihtoehdon valitsemiseksi.

Yhdenasianliikkeet ovat vaara demokratialle. Ne yksinkertaistavat asioita, jolloin kansalaiset, jotka eivät tarkemmin tunne kokonaisuutta, ovat valmiita yhtymään liikkeen kantoihin varsinkin kun media niitä esittelee yksipuolisesti. Jos liike vastustaa yhtä asiaa, asian kaikki negatiiviset puolet tuodaan esiin. Kannattamaansa asiaa yhdenasianliike yksinkertaistaa niin, että se itsestään selvästi näyttää olevan oikein.

Sveitsissä sovellettu kansanäänestysmenetelmä on parempi kuin suora menetelmä. Siinä hallitus laatii asiantuntijoiden avulla äänestettävästä asiasta perusselvityksen. Asiantuntijoista huomattava osa on tiedettä edustavia. Perusselvitykseen nojautuen hallitus muodostaa oman suosituksensa äänestyskohteesta. Perusselvitys ja hallituksen suositus jaetaan kansalaisille äänestyksen pohjaksi. Tulos on hyvä, jos voi luottaa siihen, että kansalaiset tutustuvat kunnolla perusteluihin. Jos ei halua tutkia perusteluja, voi yhtyä hallituksen suositukseen.

Eduskunnasta demokraattisempi

Parlamentit toimivat vielä teollisuusyhteiskunnan aikana tyydyttävästi. Suomessa pääosa kansanedustajista oli 1960-luvulle asti maanviljelijöitä ja työläisiä, jotka pystyivät päättämään suuresta osasta asioita henkilökohtaiseen kokemukseensa perustuen. Nyt eduskunnan päätösasioista valtaosa on kaukana edustajan kokemuspöyristä.

Demokraattinen järjestelmä vaatii uudistamista toimiakseen kansalaisten parhaaksi nyt ja tulevaisuudessa. Äänestäjien on harkittava ehdokasta valitessaan mitä ominaisuuksia ja tietoa he kansanedustajalta edellyttävät. Riittääkö, että on hyvä uimaan tai on nuori? Valitessaan ehdokkaaksi julkkisen puolueet pettävät äänestäjiä, koska häntä ei ole tarkoituskaan saada valituksi, vaan keräämään ääniä. Nuoruuskaan ei ole valtti, mutta kokemus on. Professorina TKK:ssa totuin siihen, että opiskelijoilla oli luovia ajatuksia opetuksen järjestämisasioista. Osa oli hyödyllisiä uusia, mutta monia oli sovellettu aikaisemmin ja kokemus oli osoittanut niiden tuovan uusia epäkohtia aiempien epäkohtien tilalle.

Nykyään julkisiin elimiin on nais- ja mieskiintiöt. Ehkä eduskuntaankin pitäisi soveltaa tekniikan kiintiöperiaatetta. Suomessa tekniikka on avainasemassa kansantalouden kannalta. Tekniikkaa opiskelee ja tarvitsee työtehtävissään viidesosa kansalaisista. Insinöörit ovat kuitenkin liian vähän kiinnostuneita yhteiskunnallisista asioista ainakin uransa alkuvuosina, joten politiikan piirissä heitä on vähän. Eduskunta ei edusta kansaa. Eduskunnassa vallitsee insinöörivaje!

Tekniikan edustajia olisi kannustettava pyrkimään kansanedustajiksi. Kansanedustajuus voi kiinnostaa heitä uransa myöhäisemmässä vaiheessa. Vaikeutena on, että puolueet yleensä edellyttävät ehdokkaaksi nimettävältä monivuotista aktiivista toimintaa kunnanvaltuustoissa. Siihen insinööreillä ei useinkaan ole aikaa eikä kiinnostusta. Lisäksi puolueet ja politiikassa pitkään toimineet suhtautuvat epäluulolla ”ulkopuolelta” politiikkaan pyrkiviin. Itse tulin politiikan ulkopuolelta kansanedustajaksi 57 vuoden iässä 20-vuotisen tutkijan ja 21-vuotisen professorin uran jälkeen. Valintaani asti minua pidettiin asiantuntijana,

mutta eduskunnassa tavallisena aloittelijana! Eduskunnassa suhtautumista politiikkaan myöhemmin tulleita kohtaan on muutettava.

Eduskunnan valittava huolella kuultavat asiantuntijat

Suomessa eduskunnan tukena ovat valiokunnat, jotka kuulevat alan asiantuntijoita valmistellessaan eduskunnalle mietintöä käsiteltävästä asiasta. Valiokunnan sihteeri eli valiokuntaneuvos kirjoittaa mietinnön valiokunnan jäsenten ohjeiden mukaan.

Järjestelmä on toiminut tyydyttävästi, mutta asiantuntijoiden valinta ja edustajien oma tietämys on alkanut yhä enemmän vaikuttaa tuloksiin. Tyypiesimerkki on Ympäristövaliokunnan mietintö ydinvoimalupien myöntämisestä keväältä 2010. Valiokunta kuuli lähes 40 henkilöä, joita toimensa ja asemansa perustella voi pitää asiantuntijoina. Tieteellistä asiantuntemusta valiokunta ei arvostanut, sillä vain yksi asiantuntijoista oli professori.

Käsittelyn loppuvaiheessa valiokunta lisäsi kuultavien joukkoon kymmenen ”asiantuntijaa”, jotka edustivat lähinnä ydinvoimaa vastustavia yhdenasian liikkeitä kuten Greenpeacea, Luontoliittoja ja paikallisia ydinvoiman vastaisia liikkeitä. Lisäksi mukana oli median energia-alan yleisasiantuntijana pitämä fysiikan professori.

Mietintöä lukiessa odottaa lähes loppuun asti, että johtopäätöksenä olisi ydinvoimalupien hyväksyminen. Mietinnön lopussa kuitenkin yllättäen todettiin, ettei ydinvoiman lisääminen ole yhteiskunnan kokonaisedun mukaista ja valiokunta hylkäsi lupaesityksen yhden äänen enemmistöllä.

Huomiota kiinnittää se, että Suomessa tiedeyhteisöä eli tiedeakatemiaa ei kuulla edes asioissa, joissa tieteellä olisi tärkeitä sanottavaa nykytilanteesta ja tulevaisuudennäkymistä. Kun maailma kehittyy yhä enemmän tieteen ja tekniikan varassa, eduskunnan valiokuntien on opittava hankkimaan parasta ajankohtaista tietoa. Nykyisin kansan-

edustajat ja valtioneuvosto luulevat, että Suomen Akatemia edustaa tiedemaailmaa, vaikka Suomen Akatemia on vain osa valtion byrokratiaa, jonka tehtävänä on jakaa varoja perustutkimushankkeisiin. Tiedeyhteisön todellisten edustajien Suomen tiedeakatemia ja Teknillisten tieteiden akatemian on omalta osaltaan ryhdistäydyttävä ja pyrittävä kannanotoillaan vaikuttamaan yhteiskunnan kehittymiseen.

Toisaalta asiantuntijat eivät aina ymmärrä tärkeyttään. Heidän kantansa vaikuttaa eduskunnan päätöksentekoon usein ratkaisevasti. Siksi asiantuntijan on ymmärrettävä lausuntonsa merkitys. Jos kansanedustaja kysyy asiaa, joka ei kuulu kysyttävän asiantuntemukseen, on asiantuntijan todettava se eikä esitettävä omaa mielipidettä, joka ei ole kysyjän tietoa parempi. Asiantuntijan tulisi valiokunnan kuulemisessa aluksi selvittää taustansa ja asiantuntemuksensa ala. Se pitäisi myös lyhyesti todeta mietinnön asiantuntijalistassa.

Euroopan parlamentissa sekä Keski- ja Etelä-Euroopan parlamenteissa ja Euroopan neuvostossa käsittelykäytännöt ovat huonompia kuin Suomessa. Valiokunnat eivät kuuntele asiantuntijoita vaan valitsevat raporttoijan, jonka tehtävänä on kirjoittaa valiokunnan sihteerin avustuksella raportti käsiteltävästä asiasta päätösesityksineen. Sihtööri ja raporttoija (joskus myös valiokunta) kuulevat eri etupiirejä edustavia omaa asiaansa ajavia ”lobbareita”. Riippuu raporttoijasta kuuleeko hän esimerkiksi alan tieteen edustajia. Lobbyreiden on ilmoitauduttava niin, että he saavat virallisen aseman. Mietintö voi olla vinoutunut, sillä raporttoijaksi pyrkivät usein edustajat, joilla on valmiiksi selvä kanta.

Ollessani Suomen delegaation jäsenenä Euroopan neuvostossa sain 1990-luvulla laatia raportin pienhiukkasten terveyshaitoista. Suositukseni ydinvoiman edullisuudesta pienhiukkasia tuottamattomana energiana kuitenkin hylättiin neuvoston käsittelyssä. Tanskalainen neuvoston jäsen puolestaan oli raporttoijana ilmastomuutosta käsiteltäessä. Hänen raporttinsa perusteluissa ja suosituksessa ydinvoimaa ei katsottu sopivaksi keinoksi vähentää hiilidioksidipäästöjä. Neuvosto äänesti, että ydinvoima on mahdollinen keino!

Suomen ja Kiinan hallitukset ääritapauksia

Tietoyhteiskunnan eteneminen on useimmissa maissa otettu huomioon siten, että maan hallituksessa on tiede- ja teknologiaministeri. Vastaavasti pääministerin tai presidentin neuvonantajina on tieteen ja tekniikan asiantuntijoita. Kun USA:ssa presidentti Obama valitsi neuvonantajiaan, Stanfordin yliopisto, jossa opiskelin ASLA-stipendiaattina 1950-luvulla, tiedotti heti, että neuvonantajien joukossa on useita Stanfordin yliopiston professoreita. Professorit ja heidän asiantuntemusalanensa esiteltiin.

Suomi on menestynyt ja menestyy tekniikan varassa, mutta hallituksessa (2010) ei ole yhtään ministeriä, jolla olisi luonnontieteellinen tai teknillistieteellinen koulutus, kuva 32. Kahdeksalla ministereistä on valtiotieteiden tai yhteiskuntatieteiden koulutus. Laki- ja hallintoalan on kolmella ministerillä ja talous kahdella. Puolet ministereistä on 42–49 vuotiaita. Yli 60 vuotiaita on vain kolme, mutta alle 40 vuotiaita neljä. Hallituksella on vain yksi tieteellinen neuvonantaja, yhteiskuntatieteiden kandidaatti. Hänet hallitus on nimennyt ilmastopolitiikan asiantuntijakseen!

Hallituksen apuna on tutkimus- ja innovaationeuvosto, mutta sen jäsenistä ja asiantuntijoista suuri osa on valtion virkamiehiä, tosin mukana myös VTT:n ja Tekesin pääjohtajat. Hallitus on nimennyt eri yhteyksissä työryhmiä selvittämään Suomen tulevaisuuden näkymiä, mutta niissä on pääosin ollut edustettuna talouden asiantuntemus. Tekniikan asiantuntijat ovat olleet erittäin harvinaisia. Taloudellisella asiantuntemuksella ei pystytty arvioimaan tekniikan tulossa olevaa kehitystä eikä valitsemaan tärkeitä tulevaisuuden aloja. Suomi ajelehtii lähes ajopuuna tulevaisuuteen.

Kiina edustaa toista äärimmäisyyttä. Kiinaa johtaa yhdeksänjäseninen politbyroon pysyvä ryhmä. Sen puheenjohtajana on Kiinan presidentti Hu Jintao, hydraulikan diplomi-insinööri. Varapuheenjohtaja on Wu Bangguo, radioelektroniikan diplomi-insinööri. Kuusi muutakin jäsentä ovat diplomi-insinöörejä erikoisaloinaan geologia, koneenrakennus, sähkötekniikka, kemia, epäorgaaninen kemia ja petro-

kemia. Huomattava osa heistä on professoreita ja osa toimitusjohtajia. Yksi jäsenistä on lakimies. Kiinan bruttokansantuote (BKT) kasvoi 2009 kahdeksan prosenttia, Suomen putosi saman verran.

Ottaen huomioon tekniikan ja luonnontieteiden tarpeellisuuden Suomen tulevaisuutta kehitettäessä ja ympäristöongelmia ratkaistaessa, on perusteltua, että tulevaisuudessa hallituksissa vähintään kolmella ministerillä olisi tekniikan tai luonnontieteen koulutus.

Tulevaisuusvaliokunta suomalainen innovaatio demokratian kehittämiseksi

Tietoyhteiskunnassa parlamentit tekevät yhä useammin päätöksiä, joissa tieteellä ja tekniikalla on tärkeä osuus. Esimerkkejä ovat viestintää, energiaa ja geenitekniikkaa koskevat päätökset. Eduskunnan

Kuva 32. Suomen hallituksen (2010) ja Kiinan johtoryhmän jäsenten koulutus

SUOMEN HALLITUKSEN 17 MINISTERIN KOULUTUS		KIINAA JOHTAVAN POLITBYROON 9 JÄSENEEN KOULUTUS	
Valtiotiede	5	Hydrauliikka	
Lainoppi, hallinto	3	Radioelektroniikka	
"Filosofia"	2	Geologia	
Yhteiskuntatiede	2	Koneenrakennus	
Talous	2	Sähkötekniikka	
Kasvatustiede	1	Kemia	
Humanismi	1	Epäorgaaninen kemia	
Sosiologia	1	Petrokemia	
		Lainoppi	

Kiina ja Suomi edustavat ääripäitä. Suomen menestys on pääosin huipputekniikkaan perustuvan viennin varassa, mutta maan hallituksessa ei ole ainoatakaan tekniikan alan koulutuksen saanutta. Kiina pyrkii maailman talousmahdiksi ja johtoryhmän tausta on valikoitunut sen mukaan. Vuonna 2008 Kiinan kansantuote nousi 8 %, Suomen putosi 8 %. M. Tiuri 2010.

säättämä laki ei voi ennakoida tieteen ja tekniikan edistymistä, mutta ei myöskään saisi estää hyvää kehitystä. Siksi lainsäätäjän tulee olla perillä sen tulevaisuuden näkymistä ja mahdollisuuksista.

Suomen eduskunta on uranuurtaja koko maailmassa. Se perusti vuosia kestäneen pohdinnan jälkeen vakinaisen tulevaisuusvaliokunnan vuonna 1995 silloisten kansanedustajien Eero Paloheimon ja tämän kirjoittajan aloitteesta. Muiden maiden parlamenttien tapaan Suomen eduskunta oli hidas muuttamaan työskentelytapojaan uutta aikaa vastaavaksi.

Tulevaisuusvaliokunta on herättänyt muiden valiokuntien taholta kateutta ja epäilyjä toiminnan järkevyydestä. Valiokuntaa on syytetty siitä, että se järjestää liikaa tietoyhteiskunnan kehitykseen liittyviä seminaareja. Huomautetaan, että eduskunnan tehtävänä on säätää lakeja, eikä sekaantua sille kuulumattomiin hommiin. Säädetävät lait vaativat kuitenkin usein tietopohjaa, jota kansanedustaja ei valiokunnissa asiantuntijoiden kuulemisessa saa.

Kannattaessaan tulevaisuusvaliokunnan perustamista eduskunta edellytti hallituksen antavan eduskunnalle selonteon Suomen tulevaisuudesta kunkin vaalikauden alkupuolella. Tulevaisuusvaliokunnan tehtäväksi tuli perehtyä tulevaisuusselontekoon ja tehdä siitä parhaita asiantuntijoita kuulemalla mietintö, jonka eduskunta käsittelee. Tulevaisuusselonteko on johdattanut maan hallituksen ja kansanedustajat arvioimaan tulevaisuuden näkymiä. On hyödyllistä, että eduskunnassa on toimielin, joka johdattaa kansanedustajat arvioimaan tulevaisuutta, muuten tulevaisuus ulottuu vain seuraaviin vaaleihin, ja päätökset ovat vastaavasti lyhytnäköisiä.

Tulevaisuuden katsotaan olevan nuorten asia. Kun tämän kirjoittaja valittiin valiokunnan puheenjohtajaksi, ihmeteltiin miksi tehtävään tuli eduskunnan vanhin kansanedustaja. Puolustauduin sillä, että kellään muulla ei ollut 70 vuoden kokemusta tulevaisuudesta.

Myöhemmin valiokunta on saanut tehtäväkseen myös tekniikan yhteiskunnallisten vaikutusten arvioinnin eduskunnan kannalta. Tarkoituksena on tuottaa kansanedustajille arvioita uusien tieteen ja tekniikan sovellutusten sosiaalisista, taloudellisista ja ympäristövaiku-

tuksista 5–20 vuoden aikajaksolla. Arvioinnin tekevät asiantuntijat tulevaisuusvaliokunnan ohjauksessa. Siinä käsitellään kysymyksiä, jotka arvioitavassa hankkeessa ovat kansanedustajia kiinnostavia.

Vuoden 2010 tekniikan arviointiraportit ovat *Nanohiilen tulevaisuuden mahdollisuudet ja merkitys Suomelle* sekä *Löytöretkiä biopolitiikkaan*. Tärkeistä arviointihankkeista eduskunta voi pitää ylimääräisen istunnon, jossa tuloksista keskustellaan. Arviointiraportit ovat julkisia, joten ne ovat kaikkien kansalaisten käytettävissä.

Tieteen ja tekniikan arviointi vähentää mahdollisuuksia johtaa kansalaisia ja kansanedustajia harhaan. Usein uusien tieteen ja tekniikan sovellutusten vastustajat tuovat ne julkisuuteen ensimmäisinä. Sovellutuksen haitat ja vaarat tuodaan esiin, edut ja tieteelliset tosiasiat unohtuvat. Se koskee erityisesti yhden asian liikkeitä, kuten Greenpeace ja Maan ystävät, jotka periaatteessa suhtautuvat epäluuloisesti tieteeseen ja tekniikkaan. Media saa niiden väitteistä sensaatiojuttuja.

Kun tulevaisuusvaliokunta ei ole sidottu pelkästään lakiesitysten käsittelemiseen, sillä on vapaammat kädet toimia. Valiokunta on käynyt tutustumassa Suomessa yliopistojen tutkimustoimintaan ja ulkomaisten parlamenttien teknologian arviointiin sekä yliopistojen ja tiedepuistojen toimintaan. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta on herättänyt suurta kiinnostusta ulkomaisissa kansanedustajissa. He pitävät Suomen eduskuntaa edistyksellisenä ja monet pyrkivät saamaan tulevaisuusvaliokunnan omaankin parlamenttiinsa.

9.

Tietoyhteiskunnan tulevaisuus

Kestävän tulevaisuuden lähtökohdat

Tietoyhteiskunta on alkuvaiheessaan. Tieteen ja tekniikan kehitys on vasta pääsemässä uuteen vauhtiin. 2000-luvulla on odotettavissa vastaava kehitys kuin tapahtui 1900-luvulla. Silloin tulivat käyttöön sähkö, elektroniikka, radio ja televisio, auto, lentokone, maatalouskoneet, ilmastointi, jääkaappi, tietokone, matkapuhelin ja internet. Myös muovit, polttomoottorit, moottoritiet, kotitalouskoneet, avaruustekniikka, satelliitit, terveys- ja kuvaamistekniikka, lasikuitu- ja lasertekniikka sekä ydintekniikka ovat muuttaneet elämän maapallolla täysin verrattuna 1800-lukuun.

On kaikki syyt odottaa, että 2000-luvulla muutokset ovat on yhtä suuria ja nopeita. Juuri syntyneet tieteen ja tekniikan alat nanotekniikka ja geenitekniikka (luku 5) tuottavat 2000-luvun alkupuolella runsaasti uusia sovellutuksia kaikilla tieteen ja tekniikan aloilla.

Nanotekniikka on nyt samassa vaiheessa kuin puolijohdetekniikka 60 vuotta sitten. 1950-luvulta alkaen puolijohdetekniikan tiedon ja osaamisen kehittyessä pystyttiin valmistamaan yhä pienempiä integroi-

tuja piirejä ja elektroniikan uudet sovellutukset yleistyvät entisestään. Nanotekniikka mahdollistaa hyppäyksen elektroniikan rakennearkitektuuriin, jotka perustuvat molekyyli- ja atomitasoisen hallintaan toiminnassa ja valmistuksessa. Ne ovat kooltaan nykyisiä kertaluokkaa pienempiä. Matkapuhelin voittaa tulevaisuudessa tiedonkäsittelykapasiteetillaan suurtietokoneen.

Nanotekniikan osaamisen kehittyessä sitä voidaan soveltaa monille tekniikan aloille. Tarkoituksenmukaisiksi suunnitellut materiaalit ja älykkäät materiaalit ovat tulevaisuuden mahdollisuuksia. Älykkäät robotit yleistyvät teollisuudessa ja pystyvät huolehtimaan monista ihmisistä palvelevista tehtävistä. Kvanttitietokoneet, tehokkaat akut ja uudet energialähteet ovat tulossa.

Nanotekniikkaa soveltaen on mahdollista kehittää aurinkopaneeli, joka tuottaa sähköä yölläkin. Tutkimus on jo käynnissä infrapuna-antennien ja niihin liittyvien ilmaisimien kehittämiseksi. Suurin ongelma ovat diodi-ilmaisimet. Paneelissa tarvitaan vierekkäin miljoonia pieniä antennejä ilmaisimineen. Niiden vastaanottokulma on kymmeniä asteita sivu- ja pystysuunnassa, joten paneelia ei tarvitse suunnata tarkasti. Infrapunaradiopaneelin etuna on myös hyvä hyötysuhde, arviolta 46 %. Se toimii yölläkin maahan päin käännettynä ottaen vastaan lämpösäteilyä. Teho kuitenkin putoaa.

Täsmäläkkeet ja kantasolujen hyväksikäyttö elimien korvaamisessa ovat esimerkkejä geenitekniikan mahdollisuuksista. Aikoinaan eläimet olivat tärkeitä energialähteitä voimaa vaativissa töissä. Koneet ja sähkö korvasivat teollisuusyhteiskunnassa eläinten lihasvoiman, mutta eläimet ovat vielä avainasemassa lihan ja muun ravinnon tuottamisessa ihmiskunnalle. Tulevaisuudessa geenitekniikkaan perustuva tehdasmaisen lihan tuotanto korvaa eläimet.

2000-luvun jälkipuoliskolla on käytössä uusia teknologioita, joita on mahdoton tällä hetkellä edes kuvitella. Tekniikkaa tehdään ihmistä varten, ja uusi teknillinen laite tai järjestelmä menestyy kun se kelpaa ihmisille.

Tekniikan eteneminen on kuitenkin jo aiheuttanut vastareaktioita, joissa väitetään ihmisen joutuvan yhä enemmän mukautumaan

tekniikan määräysvaltaan. Ihminen on unohtunut! Pisimmälle menevissä väitteissä todetaan aikaisemmin positiivisena pidetyn tieteen ja teknologian etenemisen nykyisin aiheuttavan enemmänkin haittaa ihmiskunnalle. Vedotaan ilmastonmuutokseen ja luonnonvarojen kulumiseen.

Tunnen elämää 1930-luvulla ja tiedän Suomen hyötynneen tekniikan kehityksestä valtavasti. Pohjoisessa maanviljelyn varassa eläminen piti Suomen köyhänä ja säänvaihteluista riippuvana. Hyvinvointiyhteiskunnasta ei ollut tietoaakaan. Tosin kunta jakoi köyhille kansakoulussa saappaita, jotta he voivat tulla talvella kouluun. Tarttuvat taudit kuten keuhkotauti ja lapsihalvaus pelottivat. Suomea vain hieman paremmin elettiin useimmissa muissakin maissa. Kehitysmaista ei juurikaan piitattu paitsi siirtomaina.

On tietenkin selvää, että kaikkien inhimilliseen toimintaan, jota tieteen ja tekniikan kehittäminenkin on, liittyy virheitä. Tiedettä ja tekniikkaa ei kuitenkaan voi yksinään syyttää huonoista seurauksista. Syy on myös ihmisissä, jotka tavoittelevat uuden tekniikan mahdollistamaa parempaa elämisen laatua nopeasti.

Vakavia haittoja aiheutuu siitä, etteivät kansalaisten yleissivistys, yhteiskunnan koulutusjärjestelmä ja demokratian toiminta ole tietoyhteiskunnan edellyttämällä tasolla. Kestävän tulevaisuuden haasteita on näiden muuttaminen ajankäytöksi.

Tietoyhteiskuntaan sopivan yleissivistyksen tuottaminen on peruskoulun tehtävä kuten on selvitetty luvussa 7. USA:ssa Microsoftin Bill Gates arvostelee ankarasti sikäläistä koulutusjärjestelmää jälkeenjääneisyydestä ja pitää esimerkkinä Suomen koululaitosta (Newsweek Dec 27 2010). Suomen koulutusjärjestelmä on saanut mainetta PISA-tutkimuksissa, mutta se ei todista, etteikö opetusohjelmissa olisi parantamisen varaa. Suomessa on nyt tarkistettava tuntijako tietoyhteiskunnan edellyttämäksi.

Poliittisilta päättäjiltä vaaditaan oikeiden päätösten tekemiseksi tieteen ja tekniikan tuntemusta ratkaisevasti nykyistä enemmän kuten on selvitetty luvussa 8. Ilman sitä hyvään tulokseen pyrkiminen vastaa Avuliasta Aatua, jonka auttamistoimet vievät autettavan entistä hankalampaan tilanteeseen.

Tietoyhteiskunnan tulevaisuuden tekijät

Tietoyhteiskunnan tulevan kehityksen johdossa tai edes mukana pysyminen edellyttää osaamisesta, tutkimuksesta ja tuotekehityksestä huolehtimista. Sen perusteella voi arvioida eri maiden tulevia mahdollisuuksia.

Yliopistot erityisesti teknillisten tieteiden, luonnontieteiden ja lääketieteen yliopistot ovat avainasemassa. Japanin, Kiinan, Singaporen, Etelä-Korean ja Intian yliopistot ovat kansainvälisissä arvioinneissa parantaneet asemiaan nopeasti viime vuosina. Ne ovat nousemassa laatulistojen alkupäähän erityisesti teknillisissä tieteissä, mutta myös luonnontieteissä.

Aasian yliopistot ovat selvästi pyrkimässä johtaviksi yliopistoiksi. Japanin Okinavalle on rakenteilla huippuyliopisto. Intia on perustanut 8 uutta keskusvallan rahoittamaa tekniikan yliopistoa. Kiina houkuttelee kiinalaisia huippututkijoita USA:sta työskentelemään Kiinassa.

Kuva 33. Maan parhaan yliopiston sijainti kansainvälisellä tekniikan yliopistojen laatulistalla 2010

MAAN PARHAAN YLIOPISTON SIJAINTI MAAILMAN TEKNIIKAN YLIOPISTOJEN LAATULISTALLA

USA (MIT)	1	RANSKA	35
UK (CAMBRIDGE)	4	SAKSA	36
JAPANI (TOKYO)	7	TAIWAN	41
SVEITSI (ETH)	8	INTIA	47
SINGAPORE	9	UUSI SEELANTI	55
KIINA	11	ISRAEL	57
KANADA	14	RUOTSI	60
HOLLANTI	18	ITALIA	63
ETELÄ-KOREA	24	TANSKA	69
HONG KONG	26	BELGIA	76
AUSTRALIA	32	INDONESIA	93
		SUOMI (TKK)	140

Suomen (TKK, Aalto-yliopisto) edellä on 25 maata muun muassa Thaimaan, Kreikan ja Turkin parhaat tekniikan yliopistot.

M. Tiuri 3.1.2011. Ref. :QS World Univ. Rankings 2010.

USA:n ja UK:n yliopistot ovat vielä parhaita. Maailman 17 parhaasta yliopistosta USA:n yliopistoja on 13 ja UK:n yliopistoja 4. Saksan ja Ranskan yliopistot ovat olleet maailman parhaita, mutta ovat pudonneet kärkiryhmästä, kun maiden poliittiset päättäjät eivät ole ymmärtäneet yliopistojen merkitystä. Italian Bolognan yliopisto on maailman vanhimpia ja on ollut aikoinaan mallina muille. Nyt se on kaukana listan alkupäästä.

Eri maiden edellytyksiä menestyä tulevaisuuden tietoyhteiskunnassa kuvaa niiden parhaan tekniikan yliopiston sijainti maailman tekniikan yliopistojen laatulistalla, kuva 33. Pienistä maista paras on Sveitsi. Sen paras tekniikan yliopisto, Zürichin teknillinen korkeakoulu ETH on sijalla kahdeksan. Suomen (TKK) edellä on 25 maata, muun muassa Indonesian, Turkin ja Thaimaan parhaat tekniikan yliopistot. Suomen tulevaisuuden edellytykset pärjätä kansainvälisessä kilpailussa huipputekniikan viennissä ovat heikot, jos eduskunta ei tiedosta vastuutaan tekniikan ja luonnontieteiden yliopistojen laadun nostamisesta.

Kuva 34. Yritysten tutkimus- ja tuotekehitysinvestointien muutos 2008–2009

T&K-INVESTOINNIT MRD USD			T&K MUUTOS 2008-2009 %	
1. TOYOTA	JAPANI	6,8	KIINA	+ 40
2. ROCHE	SVEITSI	6,4	INTIA	+ 27,3
3. MICROSOFT	USA	6,1	ETELÄ-KOREA	+ 9,1
4. VOLKSWAGEN	SAKSA	5,8	JAPANI	+ 0
5. PFIZER	USA	5,4	USA	- 5,1
6. NOVARTIS	SVEITSI	5,2	EU	- 2,6
7. NOKIA	SUOMI	5,0	ESPANJA	+ 15,4
8. JOHNSON&J.	USA	4,9	RUOTSI	- 6,6
9. SANOFI-AV.	RANSKA	4,6	SUOMI	- 6,0
10. SAMSUNG	E.-KOREA	4,5	RANSKA	- 4,7
			SAKSA	- 3,2

Maa on määritelty yrityksen kotipaikan mukaan. Suuryrityksen t&k jakaantuu moniin maihin. Mukana 400 eniten t&k -investointeja tehnyttä EU:n yritystä ja 1000 yritystä muista maista. Suomen pudotus johtuu Nokiasta. Vuonna 2007 Nokia oli lisännyt t&k -investointejaan 40 %. Suurimmat t&k -investoinnit tehneistä yrityksistä puolet on lääketeollisuuden yrityksiä, kolme elektroniikka- ja tietoliikennealan yrityksiä ja kaksi autoteollisuuden yrityksiä.

M.Tiuri 3.1.2011. Viite: *EU Industrial R&D Investment Scoreboard, 2010.*

Yritysten t&k -investointien vertailu antaa myös kuvan edellytyksistä tulevaisuuden tietoyhteiskunnan kehittämisessä, kuva 34. Vuonna 2009 eniten t&k -investointeja tehneistä 50 yrityksestä investoinnit nousivat Kiinassa 40 % ja Intiassa 27 %. Pientä kasvua oli Japanissa, Etelä-Koreassa ja Taiwanilla. Euroopassa Sveitsin yritykset lisäsivät panostustaan 2,5 %. USA:n yritysten t&k -panostus putosi 5,6 % ja EU:n yritysten 2,6 %. Espanjan yritykset kuitenkin lisäsivät t&k -investointejaan 15 %. (Viite: EU Industrial R&D Investment Scoreboard). On ilmeistä, että Aasian maat ovat parhaiten perillä tietoyhteiskunnassa menestymisen edellytyksistä.

EU:n 1990-luvulla päättämän Lissabonin strategian 2000–2010 mukaan EU on 2010 maailman kilpailukykyisin ja dynaamisin tietoon ja osaamiseen perustuva talous. Strategia oli haasteellinen, eikä se ole toteutunut. Euroopassa tarvitaan tehokkaita toimia tietoyhteiskunnan osaamisen ja uuden tiedon hankinnan edistämiseksi. Suomessa on otettava malliksi Sveitsi, joka pienenä maana on vertailukelpoinen.

Luonnon aiheuttamia kestävän tulevaisuuden ongelmia

Tietoyhteiskuntaa voivat kohdata tulevaisuudessa monet luonnon aikaansaamat ongelmat. Osa niistä on jo tiedossa. Ilmastomuutoksen eteneminen on uhkarohkea ilmastokoe, jonka seuraukset voivat yllättää. Epätavallisia sääilmiöitä alkaa esiintyä yhä useammin. Ilmasto voi rynnätä kokonaan uuteen tilaan. Ilmastomuutosta ja sen hillitsemistä on käsitelty yksityiskohtaisesti luvuissa 2–4.

Ihmiskunta on lähes 10 000 vuotta saanut nauttia suhteellisen tasaisesta ilmastosta, mikä on ollut edellytys sivilisaation kehittymiselle. Melko pienetkin luonnon syistä johtuvat häiriöt voivat vaikeuttaa tietoyhteiskunnan toimintaa. Hyvä esimerkki on huhtikuussa 2010 Eyjafjallajökull-tulivuoren purkaus Islannissa, joka esti tai häiritsi pahasti lentoliikennettä Euroopassa.

Monet paikalliset ilmastomuutokset ovat tuhonneet alueella kulttuureja, kun ne ovat olleet riippuvaisia maataloudesta ja sitä kautta lämpötilan ja sateisuuden heilahteluista. Tilapäisetkin muutokset ovat kohtalokkaita. Suomessa 1600-luvun lopulla neljäsosa kansasta kuoli nälkään kun Serua tulivuori Bandamerellä Indonesiassa purkautui 1693 ja Hekla Islannissa 1695. Kaksi kesää jäi puuttumaan.

Ilmasto voi myös luonnon syistä muuttua olennaisesti milloin hyvänsä. Jättiläismäiset tulivuorenpurkaukset ja laavapurkaukset pystyvät muuttamaan maapallon ilmaston ratkaisevasti kylmemmäksi pitkiksi ajoiksi. Niitä on selvittänyt Juhani Kakkuri vuonna 2004 ilmestyneessä kirjassaan *Tulivuoret*.

Viimeisin valtava tulivuorenpurkaus Toba tapahtui 74 000 vuotta sitten Sumatralla Indonesiassa. Siinä 2500 kuutiokilometriä tulipestä materiaalia lensi ilmaan. Sumatra ja Malakan niemimaa peittyivät kymmeniä metrejä paksuun tuhkerrokseen. Intiassakin tuhkaa oli paikoittain yli kolme metriä. Pöly ja rikkikaasut levisivät ympäri maapallon ja alensivat lämpötilan useiksi vuosiksi. Uusimmat tietokonemallilaskelmat viittaavat 10 asteen putoamiseen. Toiset tutkijat kuitenkin arvioivat jäähtymisen paljon pienemmäksi.

Toban purkauksen aikoihin jääkausi oli kiristymässä. Nykyihmiset elivät silloin todennäköisesti vielä vain Afrikassa. On arvioitu, että purkaus olisi tappanut valtaosan silloisesta ihmiskunnasta. Henkiin olisi jäänyt vain parituhatta ihmistä, joiden jälkeläisiä olemme.

Tietoyhteiskunnassakaan tulivuoren purkauksia ei pystytä ennustamaan ainakaan tarkasti. Seuraavaa suurpurkausta odotetaan USA:n Yellowstonen kansallispuistossa, jossa on halkaisijaltaan 80 kilometrin laajuinen tulivuori. Se on purkautunut 600 000–800 000 vuoden välein eli 2,1 miljoonaa, 1,3 miljoonaa ja 640 000 vuotta sitten.

Suuret laavapurkaukset muuttavat olosuhteita maapallolla tulivuorenpurkauksiakin enemmän. Ne voivat peittää paksuun laavakerrokseen suuria aloja. Intian Deccanin laakiobasaltin pinta-ala oli yhtä suuri kuin Suomen puolitoista-kertaisena. Purkaus tapahtui 65 miljoonaa vuotta sitten samaan aikaan kuin dinosaurukset tappanut asteroidi

törmäsi Jukatanin niemimaalle. Purkaus kesti 1,5 miljoonaa vuotta. Geofyysikot väittävät tapausten olleen toisistaan riippumattomia.

Meteoriittien, komeettojen ja asteroidien törmäykset ovat uhka ihmiskunnalle, kuva 35. Nykyisin pidetään selvitettyinä, että dinosaurusten kuoleminen sukupuuttoon 65 miljoonaa vuotta sitten johtui halkaisijaltaan yli 10 km asteroidin törmäyksestä Jukatanin niemimaan pohjoisreunaan Meksikossa. Törmäys aiheutti 200 km kraatterin, voimakkaita metsäpaloja, kuumen kiven sateita ja valtavan materiaali-määrän lentämisen ilmakehään. Seurannut talvi tappoi kasvillisuuden, kasvisyöjät ja niitä syövät petoeläimet. Tietoyhteiskunta pystyy seuraamaan asteroidien ja komeettojen liikkeitä ja tarvittaessa muuttamaan niiden rataa. Seurantajärjestelmä on toiminnassa.

Maan magneettikenttä voi tuottaa ongelmia tulevaisuuden tietoyhteiskunnalle. Magneettikenttä on jatkuvasti heikentynyt 170 vuotta 5 % sadassa vuodessa. On mahdollista, että kenttä kääntyy kuten se on tehnyt parin sadan tuhannen vuoden välein. Minimikohdassa kosminen säteily ja aurinkotuuli pääsevät paremmin maapallolle. Ilmakehä kuitenkin vaimentaa kosmisen säteilyn pääosan kuten nytkin. Sen sijaan satelliittien elektroniikkalaitteiden toiminta voi häiriintyä aurinkotuulen vuoksi magneettikentän suojan puuttuessa.

Kuva 35. Asteroidien koko, yleisyys ja törmäyksen aiheuttama hävitysalue

HALKAISIJA	ESIINTYMISTAAJUUS	HÄVITYSALUEEN LAAJUUS
25 M	200 VUOTTA	PAIKALLINEN
50 M	2000 VUOTTA	10 KM
140 M	30 000 VUOTTA	ALUEELLINEN
300 M	100 000 VUOTTA	MAANOSAN KÄSITTÄVÄ
1 KM	700 000 VUOTTA	LÄHES MAAPALLO
10 KM	100 MILJ.VUOTTA	GLOBAALI KATASTROFI

Siperian Tunguskan meteorin tai asteroidin halkaisija oli 30–50 m. Se räjähti noin 8 km korkeudessa, poltti metsää ja kaatoi sen 25 km säteellä. Meksikossa Jukatanin niemimaan pohjoisosaan törmäsi 65 miljoonaa vuotta sitten asteroidi, jonka halkaisija oli 12–15 km. Se aiheutti talven ja dinosaurusten kuolemisen sukupuuttoon.

M.Tiuri 3.1.2011. Ref.: IEEE Spectrum April 2010.

Tietoyhteiskunnan toimintakyky kärsii. GPS-navigointi ei toimi eikä kompasseistakaan ole apua.

Maapallon ulkopuoliset sivilisaatiot tietoyhteiskunnan vauhdittajana?

Mielenkiintoinen uhka tai mahdollisuus tietoyhteiskunnalle on yhteyden saaminen maapallon ulkopuoliseen sivilisaatioon. Tähtitieteen viimeaikaisten tulosten mukaan planeetat ovat yleisiä maailmankaikkeudessa. Toistaiseksi pystytään havaitsemaan vain suhteellisen suuret lähitähtien planeetat. Maailmankaikkeus on 13,7 miljardia vuotta vanha, maapallo 4,5 miljardia vuotta ja oma sivistyksemme vieläkin lyhytaikaisempi. Suuri osa sivilisaatioista on kehityksessä miljoonia vuosia ihmiskunnan edellä.

On kysytty, miksi meitä ei ole käyty katsomassa. Todennäköinen selitys on, että vieras sivilisaatio suhtautuu nuoreen ihmiskuntaan kuin kehittyneiden maiden ihmiset Amazonin alkuasukasheimoihin. Heimoa ei saa häiritä, koska se vaarantaisi heidän tulevaisuutensa. Maapallo on julistettu luonnonsuojelualueeksi. Radioyhteys on vaarattomampi yhteydenotto. Sitä kautta ihmiskunta voi saada uutta tietoa, joka voi ratkaisevasti laajentaa näkemystämme maailmankaikkeudesta ja elämän tarkoituksesta. Yhteyttä varten meidän täytyy vain osata valita oikea taajuus. Se ei ole toistaiseksi onnistunut.

On mahdollista, että jollakin maan kaltaisella planeetalla seurataan maapallon radiosignaaleja. Maapallolta on mennyt avaruuteen voimakkaita signaaleja 1940-luvulta alkaen. Sitä ennen käytössä olleet radioaallot heijastuivat ionosfääristä takaisin maahan. Signaalit olivat 2010 jo 35 valovuoden etäisyydellä. UHF televisioasemien tehokkaat signaalit on voitu havaita ainakin 10 valovuoden etäisyydellä.

Signaalin löytämisen jälkeen suurentamalla antennia riittävästi on jopa ollut mahdollista seurata tv-ohjelmaa. Etsikköaika on valitettavasti

vain muutama kymmenen vuotta, sillä digitaaliaikaan siirryttäessä lähetystehot ovat pudonneet murto-osaan. Rovaniemen tutka-asemat voidaan edelleen havaita.

Maapallon tv-asemista on helpoimmin ollut löydettävissä ja seurattavissa Rovaniemen tv-asema. Koska se on napapiirillä, sen säteilykeila osoittaa pitkän aikaa samaan suuntaan avaruudessa. Muitten asemien signaalit vilahtavat ohi nopeasti maapallon pyöriessä. Jos Rovaniemen säteilykeilan suunnassa on sivilisaatio ja sieltä otetaan yhteyttä, on yhteinen kieli suomi!

Ihmiskunta elää murroskautta. Tekniikan kehitys on muuttanut teollisuusyhteiskunnan globaaliksi tietoyhteiskunnaksi. Talouden kasvu on nostanut elintasoa, mutta lisännyt luonnonvarojen ja energian kulutusta ja saanut aikaan maailmanlaajuisia ympäristöongelmia. Toiminta ei ole kestävä. Tämä kirja valottaa tietä kestävään tulevaisuuteen tieteeseen ja tekniikan näkökulmasta.

Kestävä energia on tulevaisuuden avainkysymys. Ilmastonmuutoksen torjumiseksi pyritään päästöjen nopeaan vähentämiseen uusiutuvan energian avulla. Mutta uusiutuva ei riitä tai uusiutuu liian hitaasti kuten metsäenergia ja kuluttaa runsaasti luonnonvaroja kuten tuulisähkö. Ydinsähkö ei tuota päästöjä ei myöskään vaarallisia pienhiukkaspäästöjä. "Vihreä" ideologia vie harhaan.

Ihmiskunnan tie kestävään tulevaisuuteen rakentuu tieteen ja tekniikan määrätietoisella edistämisellä. Nanotekniikka mullistaa elektronikan ja materiaalitekniikan, geenitekniikka lääketieteen ja maatalouden. Suomen hyvinvointi on tulevaisuudessa entistäkin enemmän huipputekniikan ja osaamisen varassa.

Tietoyhteiskunnassa yleissivistyksen tärkeä osa ovat tekniikka ja luonnontieteet. Median on uutisoitava niistä yhtä laajasti kuin muusta kulttuurista. Demokraattista järjestelmää on kehitettävä tietoyhteiskunnan tarpeita vastaamaan. Valtioneuvostossa tulee olla tiede- ja teknologia-ministeri.

Kansi Mikko Reinikka | Albert Hall

ISBN 978-951-44-8405-6



TAMPERE
UNIVERSITY
PRESS